

Gesundheitsrisiken durch Wärmebelastung in Ballungsräumen

Eine Analyse von Hitzewellen-Ereignissen hinsichtlich der Mortalität im Raum Berlin-Brandenburg

D I S S E R T A T I O N

zur Erlangung des akademischen Grades Dr. rer. nat.
im Fach Geographie

eingereicht an der
Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät II
der Humboldt-Universität zu Berlin

von
Dipl.-Geogr. Katharina Gabriel

Präsident der Humboldt-Universität zu Berlin
Prof. Dr. Dr. h.c. Christoph Markschies

Dekan der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät II
Prof. Dr. Peter Frensch

Gutachter

1. Prof. Dr. Wilfried Endlicher
2. Prof. Dr. Gerd Jendritzky
3. Prof. Dr. Patrick Hostert

Datum der Promotion: 20. November 2009

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	10
1. Einführung	15
1.1. Problemstellung	15
1.2. Stand der Forschung	18
1.3. Ziel der Untersuchung	22
2. Daten	23
2.1. Klima	23
2.1.1. Tägliche Werte	23
2.1.2. Drei-Stunden-Werte	24
2.1.3. Auswahl der Stationen	24
2.2. Mortalität	25
2.3. Umwelt- und Sozial-Faktoren	25
2.3.1. Grad der Versiegelung	26
2.3.2. Anteil der über-65-Jährigen	26
2.4. Lage und Verlauf der Daten	26
3. Bestimmung von Hitze und Hitzewellen	29
3.1. Methoden zur Bestimmung von Hitze	29
3.1.1. Fixe Werte	29
3.1.2. Perzentile	29
3.1.3. Regression von Temperatur und Mortalität (Hockey-Stick-Methode)	30
3.1.4. Thermische Indizes	30
3.1.5. Diskussion der Methoden	31
3.2. Definition einer Hitzewelle	33
3.3. Anwendung auf Berlin-Brandenburger Daten	33
3.3.1. Gleitendes 95er Perzentil der Temperatur	34
3.3.2. Regression von Temperatur und Mortalität (Hockey-Stick-Methode)	37
3.3.3. Gefühlte Temperatur	41
3.3.4. Vergleich und Diskussion der Ergebnisse	45
3.4. Auswahl hitzebelasteter Perioden	47

4.	Analyse ausgewählter Perioden hinsichtlich Klima und Mortalität	53
4.1.	Analysemethoden	54
4.1.1.	Beschreibung der Witterung und der klimatischen Kennwerte	54
4.1.2.	Untersuchung der Mortalität	54
4.2.	Periode von 1994	57
4.2.1.	Wetterlage	57
4.2.2.	Klima	58
4.2.3.	Mortalität	60
4.3.	Periode von 2006	62
4.3.1.	Wetterlage	62
4.3.2.	Klima	63
4.3.3.	Mortalität	64
4.4.	Periode von 1997	66
4.4.1.	Wetterlage	67
4.4.2.	Klima	67
4.4.3.	Mortalität	69
4.5.	Periode von 2003	70
4.5.1.	Wetterlage	71
4.5.2.	Klima	71
4.5.3.	Mortalität	73
4.6.	Periode von 1993	74
4.6.1.	Wetterlage	74
4.6.2.	Klima	75
4.6.3.	Mortalität	76
4.7.	Räumliche Zusammenhänge der Mortalität	78
4.7.1.	Grad der Versiegelung	78
4.7.2.	Anteil der über-65-Jährigen	80
4.8.	Zusammenfassung der Ergebnisse	83
5.	Diskussion und Ausblick	87
5.1.	Diskussion der Ergebnisse	87
5.1.1.	Methoden	87
5.1.2.	Thermische Belastung	88
5.1.3.	Mortalität	90
5.1.4.	Vergleich von 1994 und 2006	91
5.2.	Ausblick auf zukünftige Forschung	92

6.	Quellenverzeichnis	95
6.1.	Daten	95
6.2.	Literatur	95
6.3.	Internet	103
7.	Anhang	104
A1.	Diagramme und Tabellen zur Hitzebestimmung	105
A1.1.	95er Perzentil	105
A1.1.1	Ermittlung des Grenzwertes mithilfe des 95er Perzentils	105
A1.1.2	Verteilung der Überschreitungen	108
A1.1.3	Auftreten von Hitzewellen	109
A1.2	Regression: Hockey-Stick-Methode	115
A1.2.1	Bestimmung des thresholds für T_{\max}	115
A1.2.2	Bestimmung des thresholds für T_{\min}	116
A1.2.3	Verteilung der Überschreitungen	117
A1.2.4	Auftreten von Hitzewellen	118
A1.3	Index: Gefühlte Temperatur	137
A1.3.1	Verteilung der Überschreitungen	137
A1.3.2	Auftreten von Hitzewellen	138
A2.	Wetterlagen	144
A2.1.	Sommer 1993	144
A2.1.1.	Witterung	144
A2.1.2.	Wetter	145
A2.2.	Sommer 1994	147
A2.2.1.	Witterung	147
A2.2.2.	Wetter	148
A2.3.	Sommer 1997	150
A2.3.1.	Witterung	150
A2.3.2.	Wetter	150
A2.4.	Sommer 2003	152
A2.4.1.	Witterung	152
A2.4.2.	Wetter	154
A2.5.	Sommer 2006	156
A2.5.1.	Witterung	156
A2.5.2.	Wetter	157
A3.	Überschreitungshäufigkeit thermischer Grenzwerte	159
A4.	Abweichung der Mortalität vom Erwartungswert auf kommunaler Ebene	162
	Danksagung	168
	Erklärung	169

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.01: Szenarien der Temperaturentwicklung. [MEEHL et al. 2007: 762].....	16
Abb. 2.01: Saisonalität der über sechs Stationen gemittelten Tagesmaximum- Temperatur sowie der Mortalität in Berlin und Brandenburg im Zeitraum von 1990 bis 2006.....	27
Abb. 3.01: Aufteilung der Brandenburger Landkreise auf vier Quadranten und Lage der dazugehörigen Wetterstationen.	34
Abb. 3.02: Tage pro Jahr, an denen das 95er Perzentil der Maximum- (▲) bzw. der Minimumtemperatur (▼) an der Station Berlin-Dahlem überschritten wurde. Die vertikalen Linien geben den meteorologischen Sommer an.....	36
Abb. 3.03: Gegenüberstellung des Tagesmaximums der Lufttemperatur an der Station Berlin-Dahlem und der Tagessumme der Mortalität von Berlin im Zeitraum von 1990 bis 2006	38
Abb. 3.04: Tage pro Jahr, an denen der 'threshold' der Maximum- (▲) bzw. der Minimumtemperatur (▼) an der Station Berlin-Dahlem überschritten wurde. Die vertikalen Linien geben den meteorologischen Sommer an.....	40
Abb. 3.05: Tage pro Jahr, an denen an der Station Berlin-Dahlem die Gefühlte Temperatur zu den Messzeiten 09:00, 12:00 oder 15:00 den Wert von 32°C (▲) bzw. zu den Messzeiten 00:00 oder 03:00 den Wert 20°C (▼) überschreitet. Die vertikalen Linien geben den meteorolog- ischen Sommer an.	43
Abb. 3.06: Gesamtsumme der Perioden-Belastungspunkte (PBP) aus den nach drei Methoden als hitzebelastet klassifizierten Tagen an den Stationen Neuruppin, Angermünde, Berlin-Dahlem, Berlin-Tempelhof, Wittenberg (ohne 2006) und Cottbus.	48
Abb. 3.07: Häufigkeitsverteilung der Gesamtsumme der Perioden-Belastungspunkte (gPBP) mit Angabe der Lage der jährlichen Punkt-Höchstzahl sowie des 99er und des 95er Perzentils.	49
Abb. 4.01: Farbskala mit Angabe der Klassengrenzen für die Abweichung der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert in Prozent.....	56
Abb. 4.02: 500 hPa-Karten vom 28. und 29. Juli sowie 01. August 1994.	58
Abb. 4.03: Abweichung der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert in den Bezirken Berlins und in den Landkreisen und kreisfreien Städten Brandenburgs während der Periode von 1994 (22.07.-11.08.).....	61
Abb. 4.04: 500 hPa-Karten vom 11., 19. sowie 26. Juli 2006.	63
Abb. 4.05: Abweichung der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert in den Bezirken Berlins und in den Landkreisen und kreisfreien Städten Brandenburgs während der Periode von 2006 (10.07.-30.07.).....	66
Abb. 4.06: 500 hPa-Karten vom 12., 14. sowie 17. August 1997.....	67
Abb. 4.07: Abweichung der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert in den Bezirken Berlins und in den Landkreisen und kreisfreien Städten Brandenburgs während der Periode von 1997 (08.08.-28.08.).....	70
Abb. 4.08: 500 hPa-Karten vom 20. Juli sowie 01. und 04. August 2003.	71

Abb. 4.09: Abweichung der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert in den Bezirken Berlins und in den Landkreisen und kreisfreien Städten Brandenburgs während der Periode von 2003 (16.07.-05.08.).	74
Abb. 4.10: 500 hPa-Karten vom 28. Juli sowie 07. und 17. August 1993.	75
Abb. 4.11: Abweichung der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert in den Bezirken Berlins und in den Landkreisen und kreisfreien Städten Brandenburgs während der Periode von 1993 (28.07.-17.08.).	78
Abb. 4.12: Korrelation zwischen Mortalität und Versiegelungsgrad in Abhängigkeit von der Gesamtsumme der Periodenbelastungspunkte (gPBP).	79
Abb. 4.13: Korrelation zwischen Mortalität und Bevölkerung über 65 Jahren in Abhängigkeit von der Gesamtsumme der Periodenbelastungspunkte (gPBP).	81
Abb. 4.14: Korrelation zwischen Versiegelungsgrad und Anteil der über-65-Jährigen in den einzelnen Kommunen während der Perioden 1993, 1994, 1997, 2003 und 2006, unter Hinzunahme von 2000.	82
Abb. 4.15: Gegenüberstellung der Abweichung der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert in % und der jeweiligen Gesamtsumme der Periodenbelastungspunkte (gPBP) von den Perioden mit den höchsten gPBP eines Jahres.	85
Abb. A1.01: Tage pro Jahr, an denen das 95er Perzentil der Maximum- (▲) bzw. der Minimumtemperatur (▼) an der Station Neuruppin überschritten wurde.	108
Abb. A1.02: Tage pro Jahr, an denen das 95er Perzentil der Maximum- (▲) bzw. der Minimumtemperatur (▼) an der Station Angermünde überschritten wurde.	108
Abb. A1.03: Tage pro Jahr, an denen das 95er Perzentil der Maximum- (▲) bzw. der Minimumtemperatur (▼) an der Station Berlin-Dahlem überschritten wurde.	108
Abb. A1.04: Tage pro Jahr, an denen das 95er Perzentil der Maximum- (▲) bzw. der Minimumtemperatur (▼) an der Station Berlin-Tempelhof überschritten wurde.	108
Abb. A1.05: Tage pro Jahr, an denen das 95er Perzentil der Maximum- (▲) bzw. der Minimumtemperatur (▼) an der Station Wittenberg überschritten wurde.	108
Abb. A1.06: Tage pro Jahr, an denen das 95er Perzentil der Maximum- (▲) bzw. der Minimumtemperatur (▼) an der Station Cottbus überschritten wurde.	108
Abb. A1.07: Gegenüberstellung des Tagesmaximums der Lufttemperatur an der Station Neuruppin und der Tagessumme der Mortalität des NW-Quadranten Brandenburgs im Zeitraum von 1990 bis 2006.	115
Abb. A1.08: Gegenüberstellung des Tagesmaximums der Lufttemperatur an der Station Angermünde und der Tagessumme der Mortalität des NE-Quadranten Brandenburgs im Zeitraum von 1990 bis 2006.	115
Abb. A1.09: Gegenüberstellung des Tagesmaximums der Lufttemperatur an der Station Berlin-Dahlem und der Tagessumme der Mortalität von Berlin im Zeitraum von 1990 bis 2006.	115

Abb. A1.10: Gegenüberstellung des Tagesmaximums der Lufttemperatur an der Station Berlin-Tempelhof und der Tagessumme der Mortalität von Berlin im Zeitraum von 1990 bis 2006.	115
Abb. A1.11: Gegenüberstellung des Tagesmaximums der Lufttemperatur an der Station Wittenberg und der Tagessumme der Mortalität des SW-Quadranten Brandenburgs im Zeitraum von 1990 bis 2006.	115
Abb. A1.12: Gegenüberstellung des Tagesmaximums der Lufttemperatur an der Station Cottbus und der Tagessumme der Mortalität des SE-Quadranten Brandenburgs im Zeitraum von 1990 bis 2006.	115
Abb. A1.13: Gegenüberstellung des Tagesminimums der Lufttemperatur an der Station Neuruppin und der Tagessumme der Mortalität des NW-Quadranten Brandenburgs im Zeitraum von 1990 bis 2006.	116
Abb. A1.14: Gegenüberstellung des Tagesminimums der Lufttemperatur an der Station Angermünde und der Tagessumme der Mortalität des NE-Quadranten Brandenburgs im Zeitraum von 1990 bis 2006.	116
Abb. A1.15: Gegenüberstellung des Tagesminimums der Lufttemperatur an der Station Berlin-Dahlem und der Tagessumme der Mortalität von Berlin im Zeitraum von 1990 bis 2006.	116
Abb. A1.16: Gegenüberstellung des Tagesminimums der Lufttemperatur an der Station Berlin-Tempelhof und der Tagessumme der Mortalität von Berlin im Zeitraum von 1990 bis 2006.	116
Abb. A1.17: Gegenüberstellung des Tagesminimums der Lufttemperatur an der Station Wittenberg und der Tagessumme der Mortalität des SW-Quadranten Brandenburgs im Zeitraum von 1990 bis 2006.	116
Abb. A1.18: Gegenüberstellung des Tagesminimums der Lufttemperatur an der Station Cottbus und der Tagessumme der Mortalität des SE-Quadranten Brandenburgs im Zeitraum von 1990 bis 2006.	116
Abb. A1.19: Tage pro Jahr, an denen der 'threshold' der Maximum- (▲) bzw. der Minimumtemperatur (▼) an der Station Neuruppin überschritten wurde. Die vertikalen Linien geben den meteorologischen Sommer an....	117
Abb. A1.20: Tage pro Jahr, an denen der 'threshold' der Maximum- (▲) bzw. der Minimumtemperatur (▼) an der Station Angermünde überschritten wurde. Die vertikalen Linien geben den meteorologischen Sommer an....	117
Abb. A1.21: Tage pro Jahr, an denen der 'threshold' der Maximum- (▲) bzw. der Minimumtemperatur (▼) an der Station Berlin-Dahlem überschritten wurde. Die vertikalen Linien geben den meteorologischen Sommer an....	117
Abb. A1.22: Tage pro Jahr, an denen der 'threshold' der Maximum- (▲) bzw. der Minimumtemperatur (▼) an der Station Berlin-Tempelhof überschritten wurde. Die vertikalen Linien geben den meteorologischen Sommer an....	117
Abb. A1.23: Tage pro Jahr, an denen der 'threshold' der Maximum- (▲) bzw. der Minimumtemperatur (▼) an der Station Wittenberg überschritten wurde. Die vertikalen Linien geben den meteorologischen Sommer an....	117
Abb. A1.24: Tage pro Jahr, an denen der 'threshold' der Maximum- (▲) bzw. der Minimumtemperatur (▼) an der Station Cottbus überschritten wurde. Die vertikalen Linien geben den meteorologischen Sommer an.....	117

- Abb. A1.25: Tage pro Jahr, an denen an der Station Neuruppin die Gefühlte Temperatur zu den Messzeiten 09:00, 12:00 oder 15:00 den Wert von 32°C (▲) bzw. zu den Messzeiten 00:00 oder 03:00 den Wert 20°C (▼) überschreitet. 137
- Abb. A1.26: Tage pro Jahr, an denen an der Station Angermünde die Gefühlte Temperatur zu den Messzeiten 09:00, 12:00 oder 15:00 den Wert von 32°C (▲) bzw. zu den Messzeiten 00:00 oder 03:00 den Wert 20°C (▼) überschreitet. 137
- Abb. A1.27: Tage pro Jahr, an denen an der Station Berlin-Dahlem die Gefühlte Temperatur zu den Messzeiten 09:00, 12:00 oder 15:00 den Wert von 32°C (▲) bzw. zu den Messzeiten 00:00 oder 03:00 den Wert 20°C (▼) überschreitet. 137
- Abb. A1.28: Tage pro Jahr, an denen an der Station Berlin-Tempelhof die Gefühlte Temperatur zu den Messzeiten 09:00, 12:00 oder 15:00 den Wert von 32°C (▲) bzw. zu den Messzeiten 00:00 oder 03:00 den Wert 20°C (▼) überschreitet. 137
- Abb. A1.29: Tage pro Jahr, an denen an der Station Wittenberg die Gefühlte Temperatur zu den Messzeiten 09:00, 12:00 oder 15:00 den Wert von 32°C (▲) bzw. zu den Messzeiten 00:00 oder 03:00 den Wert 20°C (▼) überschreitet. 137
- Abb. A1.30: Tage pro Jahr, an denen an der Station Cottbus die Gefühlte Temperatur zu den Messzeiten 09:00, 12:00 oder 15:00 den Wert von 32°C (▲) bzw. zu den Messzeiten 00:00 oder 03:00 den Wert 20°C (▼) überschreitet... 137

Tabellenverzeichnis

Tab. 2-01: Klimaparameter der Datenreihen auf Tageswert-Basis.....	23
Tab. 2-02: Verwendete Stationen des Deutschen Wetterdienstes	24
Tab. 3-01: Zusammenstellung und Beschreibung der in der vorliegenden Literatur verwendeten Indizes.....	31
Tab. 3-02: Aufteilung der Brandenburger Landkreise auf vier Quadranten und Zuordnung einer Wetterstation. [Zusammenstellung: K. Gabriel]	34
Tab. 3-03: Klimastationen in Berlin und Brandenburg – Schwellenwerte zur Hitzebelastung anhand des gleitenden 95er Perzentil für Tagesmaximum und Tagesminimum der Lufttemperatur sowie die Häufigkeit der Überschreitungen im Untersuchungszeitraum 1990 – 2006 (n = 6.209 Tage).....	35
Tab. 3-04: Klimastationen in Berlin und Brandenburg – Charakteristika der Stationen bezüglich des Auftretens von Hitzewellen (HW) nach der Perzentil- Methode im Untersuchungszeitraum 1990 – 2006 (n = 6.209 Tage).	37
Tab. 3-05: Klimastationen in Berlin und Brandenburg – 'threshold' (TH) anhand der 'Hockey-Stick-Methode' für Tagesmaximum und Tagesminimum der Lufttemperatur sowie die Häufigkeit der Überschreitungen im Untersuchungszeitraum (n = 6.209 Tage).....	38
Tab. 3-06: Klimastationen in Berlin und Brandenburg – Charakteristika der Stationen bezüglich des Auftretens von Hitzewellen (HW) nach der Regressions- Methode im Untersuchungszeitraum 1990 – 2006 (n = 6.209 Tage).	40
Tab. 3-07: Thermische Wahrnehmung und physiologische Belastung der Gefühlten Temperatur mit Angabe der Temperaturspanne. [STAIGER & BUCHER & JENDRITZKY 1997].....	41
Tab. 3-08: Klimastationen in Berlin und Brandenburg – Grenzwerte für Tages- (09/12/15) und Nachtwerte (00/03) der Gefühlten Temperatur (GT) sowie die Häufigkeit der Überschreitungen im Untersuchungszeitraum (n = 6.209 Tage).....	42
Tab. 3-09: Klimastationen in Berlin und Brandenburg – Charakteristika der Stationen bezüglich des Auftretens von Hitzewellen (HW) nach der Gefühlten Temperatur im Untersuchungszeitraum 1990 – 2006 (n = 6.209 Tage)....	44
Tab. 3-10: Klimastationen in Berlin und Brandenburg – thermische Grenzen bei 95er Perzentil, Hockey-Stick-Methode und der Gefühlten Temperatur für Tages- und Nachtwerte.....	46
Tab. 3-11: Ausgewählte Zeiträume über 21 Tage mit Angabe der Gesamtsumme von Perioden-Belastungspunkten (gBPB) (max n = 378 bzw. 756; für 2006: max n = 357 bzw. 714).	50
Tab. 4-01: Ausgewählte Zeiträume über 21 Tage, sortiert nach der Gesamtsumme der Perioden-Belastungspunkte.	53
Tab. 4-02: Klassen der Abweichung vom Erwartungswert mit ihrer Spanne sowie der sprachlichen Beschreibung und der farblichen Darstellung.....	56

Tab. 4-03: Klimatische Kenngrößen des thermischen Wirkungskomplexes während der Periode von 1994 (22.07.-11.08.).	59
Tab. 4-04: Mortalität während der Hitzewelle 1994 im gesamten Untersuchungsgebiet sowie differenziert nach den Bundesländern Berlin und Brandenburg.	60
Tab. 4-05: Klimatische Kenngrößen des thermischen Wirkungskomplexes während der Periode von 2006 (10.07.-30.07.). n. d. = no data	64
Tab. 4-06: Mortalität während der Hitzewelle 2006 im gesamten Untersuchungsgebiet sowie differenziert nach den Bundesländern Berlin und Brandenburg.	65
Tab. 4-07: Klimatische Kenngrößen des thermischen Wirkungskomplexes während der Periode von 1997 (08.08.-28.08.).	68
Tab. 4-08: Mortalität während der Hitzewelle 1997 im gesamten Untersuchungsgebiet sowie differenziert nach den Bundesländern Berlin und Brandenburg.	69
Tab. 4-09: Klimatische Kenngrößen des thermischen Wirkungskomplexes während der Periode von 2003 (16.07.-05.08.).	72
Tab. 4-10: Mortalität während der Hitzewelle 2003 im gesamten Untersuchungsgebiet sowie differenziert nach den Bundesländern Berlin und Brandenburg.	73
Tab. 4-11: Klimatische Kenngrößen des thermischen Wirkungskomplexes während der Periode von 1993 (28.07.-17.08.).	76
Tab. 4-12: Mortalität während der Hitzewelle 1993 im gesamten Untersuchungsgebiet sowie differenziert nach den Bundesländern Berlin und Brandenburg.	77
Tab. 4-13: Korrelation zwischen Abweichung der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert und dem Grad der Versiegelung während der Perioden 1993, 1994, 1997, 2003 und 2006.	79
Tab. 4-14: Korrelation zwischen der Abweichung der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert und dem Anteil der Bevölkerung über 65 Jahren während der Perioden 1993, 1994, 1997, 2003 und 2006.	80
Tab. 4-15: Korrelation zwischen dem Anteil der Bevölkerung über 65 Jahren während der Perioden 1993, 1994, 1997, 2003 und 2006, unter Hinzunahme von 2000.	81
Tab. 4-16: Vergleich der klimatischen Kenngrößen des thermischen Wirkungskomplexes während der Hitzeperioden von 1994, 2006, 1997 und 2003 sowie der kühlen Periode von 1993.	84
Tab. 4-17: Gesamtsumme der Perioden-Belastungspunkte und Abweichung der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert in % während der Hitzeperioden von 1994, 2006, 1997 und 2003 sowie der kühlen Periode von 1993.	84
Tab. A1-01: 95er Perzentil der Werte T_{\max} und T_{\min} an der Station Neuruppin für die Jahre 1990 - 2006, ermittelt aus der jeweils vorangegangenen Dekade...	105
Tab. A1-02: 95er Perzentil der Werte T_{\max} und T_{\min} an der Station Angermünde für die Jahre 1990 - 2006, ermittelt aus der jeweils vorangegangenen Dekade.	105
Tab. A1-03: 95er Perzentil der Werte T_{\max} und T_{\min} an der Station Berlin-Dahlem für die Jahre 1990 - 2006, ermittelt aus der jeweils vorangegangenen Dekade.	106

Tab. A1-04: 95er Perzentil der Werte T_{\max} und T_{\min} an der Station Berlin-Tempelhof für die Jahre 1990 - 2006, ermittelt aus der jeweils vorangegangenen Dekade.	106
Tab. A1-05: 95er Perzentil der Werte T_{\max} und T_{\min} an der Station Wittenberg für die Jahre 1990 - 2006, ermittelt aus der jeweils vorangegangenen Dekade. .	107
Tab. A1-06: 95er Perzentil der Werte T_{\max} und T_{\min} an der Station Cottbus für die Jahre 1990 - 2006, ermittelt aus der jeweils vorangegangenen Dekade.	107
Tab. A1-07: Hitzewellen von 1990 bis 2006 an der Station Neuruppin, wobei gilt: $n_{\text{Tage}}: P95(T_{\max}) \geq 3$ und $n_{\text{Nächte}}: P95(T_{\min}) \geq 2$	109
Tab. A1-08: Hitzewellen von 1990 bis 2006 an der Station Angermünde, wobei gilt: $n_{\text{Tage}}: P95(T_{\max}) \geq 3$ und $n_{\text{Nächte}}: P95(T_{\min}) \geq 2$	110
Tab. A1-09: Hitzewellen von 1990 bis 2006 an der Station Berlin-Dahlem, wobei gilt: $n_{\text{Tage}}: P95(T_{\max}) \geq 3$ und $n_{\text{Nächte}}: P95(T_{\min}) \geq 2$	111
Tab. A1-10: Hitzewellen von 1990 bis 2006 an der Station Berlin-Tempelhof, wobei gilt: $n_{\text{Tage}}: P95(T_{\max}) \geq 3$ und $n_{\text{Nächte}}: P95(T_{\min}) \geq 2$	112
Tab. A1-11: Hitzewellen von 1990 bis 2006 an der Station Wittenberg, wobei gilt: $n_{\text{Tage}}: P95(T_{\max}) \geq 3$ und $n_{\text{Nächte}}: P95(T_{\min}) \geq 2$	113
Tab. A1-12: Hitzewellen von 1990 bis 2006 an der Station Cottbus, wobei gilt: $n_{\text{Tage}}: P95(T_{\max}) \geq 3$ und $n_{\text{Nächte}}: P95(T_{\min}) \geq 2$	114
Tab. A1-13: Hitzewellen von 1990 bis 2006 an der Station Neuruppin, wobei gilt: $n_{\text{Tage}}: HS(T_{\max}) \geq 3$ und $n_{\text{Nächte}}: HS(T_{\min}) \geq 2$	118
Tab. A1-14: Hitzewellen von 1990 bis 2006 an der Station Angermünde, wobei gilt: $n_{\text{Tage}}: HS(T_{\max}) \geq 3$ und $n_{\text{Nächte}}: HS(T_{\min}) \geq 2$	121
Tab. A1-15: Hitzewellen von 1990 bis 2006 an der Station Berlin-Dahlem, wobei gilt: $n_{\text{Tage}}: HS(T_{\max}) \geq 3$ und $n_{\text{Nächte}}: HS(T_{\min}) \geq 2$	124
Tab. A1-16: Hitzewellen von 1990 bis 2006 an der Station Berlin-Tempelhof, wobei gilt: $n_{\text{Tage}}: HS(T_{\max}) \geq 3$ und $n_{\text{Nächte}}: HS(T_{\min}) \geq 2$	127
Tab. A1-17: Hitzewellen von 1990 bis 2006 an der Station Wittenberg, wobei gilt: $n_{\text{Tage}}: HS(T_{\max}) \geq 3$ und $n_{\text{Nächte}}: HS(T_{\min}) \geq 2$	130
Tab. A1-18: Hitzewellen von 1990 bis 2006 an der Station Cottbus, wobei gilt: $n_{\text{Tage}}: HS(T_{\max}) \geq 3$ und $n_{\text{Nächte}}: HS(T_{\min}) \geq 2$	133
Tab. A1-19: Hitzewellen von 1990 bis 2006 an der Station Neuruppin, wobei gilt: $n_{\text{Tage}}: (GT_{(09:00/12:00/15:00)} \geq 32^{\circ}\text{C}) \geq 3$	138
Tab. A1-26: Hitzewellen von 1990 bis 2006 an der Station Angermünde, wobei gilt: $n_{\text{Tage}}: (GT_{(09:00/12:00/15:00)} \geq 32^{\circ}\text{C}) \geq 3$	139
Tab. A1-27: Hitzewellen von 1990 bis 2006 an der Station Berlin-Dahlem, wobei gilt: $n_{\text{Tage}}: (GT_{(09:00/12:00/15:00)} \geq 32^{\circ}\text{C}) \geq 3$	139
Tab. A1-28: Hitzewellen von 1990 bis 2006 an der Station Berlin-Tempelhof, wobei gilt: $n_{\text{Tage}}: (GT_{(09:00/12:00/15:00)} \geq 32^{\circ}\text{C}) \geq 3$	141
Tab. A1-29: Hitzewellen von 1990 bis 2006 an der Station Wittenberg, wobei gilt: $n_{\text{Tage}}: (GT_{(09:00/12:00/15:00)} \geq 32^{\circ}\text{C}) \geq 3$	142
Tab. A1-30: Hitzewellen von 1990 bis 2006 an der Station Cottbus, wobei gilt: $n_{\text{Tage}}: (GT_{(09:00/12:00/15:00)} \geq 32^{\circ}\text{C}) \geq 3$	143

Tab. A3-01: Überschreitungshäufigkeit verschiedener Grenzwerte in der Periode von 1993 (28.07.-17.08.).....	159
Tab. A3-02: Überschreitungshäufigkeit verschiedener Grenzwerte in der Periode von 1994 (22.07.-11.08.).....	159
Tab. A3-03: Überschreitungshäufigkeit verschiedener Grenzwerte in der Periode von 1997 (08.08.-28.08.).....	160
Tab. A3-04: Überschreitungshäufigkeit verschiedener Grenzwerte in der Periode von 2003 (16.07.-05.08.).....	160
Tab. A3-05: Überschreitungshäufigkeit verschiedener Grenzwerte in der Periode von 2006 (10.07.-30.07.).....	161
Tab. A4-01: Farbwerte der Klassen in der kartographischen Darstellung der Abweichung der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert.	162
Tab. A4-02: Abweichung der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert in den Bezirken Berlins (B) sowie den kreisfreien Städten (KFS) und Landkreisen (LK) Brandenburgs während der Periode von 1993 (28.07.-17.08.).....	163
Tab. A4-03: Abweichung der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert in den Bezirken Berlins (B) sowie den kreisfreien Städten (KFS) und Landkreisen (LK) Brandenburgs während der Periode von 1994 (22.07.-11.08.).....	164
Tab. A4-04: Abweichung der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert in den Bezirken Berlins (B) sowie den kreisfreien Städten (KFS) und Landkreisen (LK) Brandenburgs während der Periode von 1997 (08.08.-28.08.).....	165
Tab. A4-05: Abweichung der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert in den Bezirken Berlins (B) sowie den kreisfreien Städten (KFS) und Landkreisen (LK) Brandenburgs während der Periode von 2003 (16.07.-05.08.).....	166
Tab. A4-06: Abweichung der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert in den Bezirken Berlins (B) sowie den kreisfreien Städten (KFS) und Landkreisen (LK) Brandenburgs während der Periode von 2006 (10.07.-30.07.).....	167

1. Einführung

1.1. Problemstellung

Im Jahre 2007 wurde der Friedensnobelpreis für Forschung (UN Klimarat IPCC) und Information (Al Gore: 'An Inconvenient Truth') über den globalen Klimawandel vergeben. Spätestens seitdem wird das Phänomen auf allen Ebenen diskutiert. Auf wissenschaftlicher Ebene besteht weitgehend Konsens darüber, dass die Ursachen für die jüngsten klimatischen Veränderungen anthropogenen Ursprungs sind und dass sich der bisher erkennbare Trend weiter fortsetzen wird – lediglich über die Details ist man uneins. Noch immer gibt es Unklarheiten über den jeweiligen Beitrag einzelner Komponenten am Wandel, hinzu kommen Unsicherheiten hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung dieser einzelnen Komponenten.

Einig ist sich die Wissenschaft jedoch, dass diese klimatischen Veränderungen wie eine Rückkopplung auf weite Bereiche des menschlichen Lebens direkten und indirekten Einfluss haben werden. Natürliche Systeme wie Flora und Fauna werden ebenso wie anthropogene betroffen sein, wobei sich zu letzteren Industrie und (Land-) Wirtschaft genauso wie Siedlungen und Bebauung zählen lassen. Auch der Mensch als Individuum wird durch den klimatischen Wandel in vielfältiger Weise betroffen sein – einen wichtigen Aspekt stellt seine Gesundheit dar.

Dass der Klimawandel in Deutschland bereits heute zu spüren ist, machen langjährige Reihen von Wetteraufzeichnungen deutlich. Demnach waren die 1990er Jahre die wärmste Dekade des 20. Jahrhunderts. Zwischen 1990 und 2000 nahm die jährliche Mitteltemperatur um etwa 0,8 K bis 1,0 K zu, wobei zu diesem Anstieg vor allem die milder gewordenen Winter beitrugen: Während die Sommertemperaturen durchschnittlich nur um 0,7 K stiegen, waren es im Winter 2,3 K [ZEBISCH et al. 2005: 38]. Nach Szenario A1B¹ des IPCC-Berichts (vgl. Abbildung 1.01) wird sich der Trend der Erwärmung in Zukunft fortsetzen. Danach wird der globale Temperaturanstieg von 1980-1999 bis 2080-2099 zwischen 2,0 K und 5,3 K liegen [CHRISTENSEN et al. 2007: 873]. Damit verbunden werden räumliche, quantitative und qualitative Änderungen weiterer Klimaparameter einhergehen, wie zum Beispiel bei Niederschlag oder bei Wind.

¹ Dem Szenario A1B liegt ein weltweit starkes wirtschaftliches Wachstum zugrunde sowie eine Bevölkerungsentwicklung, die etwa im Jahr 2050 ihr Maximum erreicht. Die Einführung neuer Technologien erfolgt schnell und effizient. Energie wird durch eine Mischung aus fossilen und nicht-fossilen Energieträgern gewonnen.

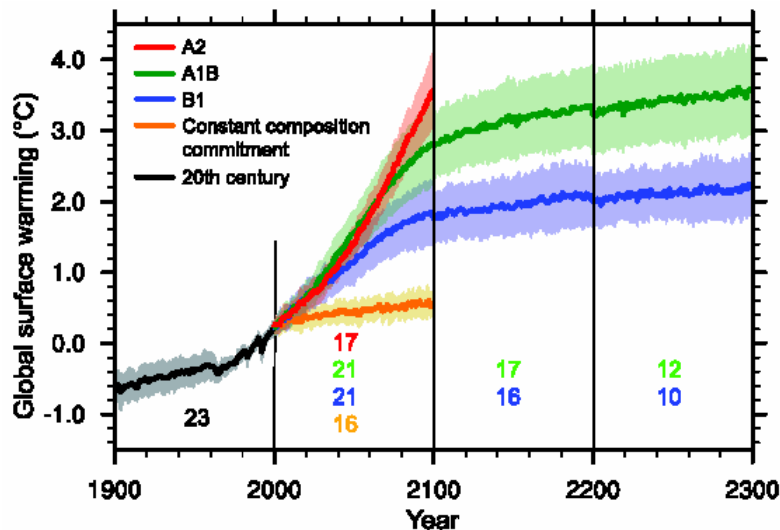


Abb. 1.01: Szenarien der Temperaturentwicklung. [MEEHL et al. 2007: 762]

A2: Pessimistisches Szenario: Starkes Bevölkerungswachstum und große Unterschiede in Einkommensentwicklung und technischem Fortschritt verschärfen soziale Gegensätze.

A1B: liegt zwischen A2 und B1 (vgl. auch Fußnote 1).

B1: Optimistisches Szenario: Soziales Gleichgewicht und globale Gerechtigkeit verstärken sich durch Entwicklung intelligenter Technik und nachhaltiger Prinzipien.

Neben der Änderung langjähriger Mittelwerte wird eine hohe Variabilität zwischen den Jahren prognostiziert [FÜSSEL et al. 2006: 42]. Dadurch können zwar auch Jahre mit 'ganz normaler' Witterung vorkommen, doch Jahre, in denen Extremereignisse zu beobachten sind, werden häufiger. Diese Extreme können in den Bereichen Niederschlag, Temperatur und Luftströmung auftreten. Im Sommer führen lang anhaltende Phasen mit hohen Temperaturen zu einer starken thermischen Belastung von Menschen, Tieren und Pflanzen. Mit großer Wahrscheinlichkeit werden diese in Mitteleuropa zunehmen. Die natürlichen und vor allem die anthropogenen Systeme sind jedoch auf Mittelwerte ausgelegt. Werden Optimumgrenzen über- oder unterschritten, sinkt zunächst die Leistungsfähigkeit, bis es dann zum Kollaps des Systems kommt.

Zusätzlich zu diesem globalen Wandel verändert der Mensch das thermische Milieu auch kleinräumig. Nach FEZER [1995: 15] wurde bereits 1774 von DEURER ein nächtlicher Temperaturunterschied von fast 6 K zwischen der Stadt Mannheim und ihrem Umland festgestellt. Seither wurde das Phänomen der 'städtischen Wärmeinsel' vielfach belegt, beschrieben und weiter untersucht [u. a. durch ALCOFORADO & ANDRADE 2006; BALLING JR. & CERVENY 1987; FIGUEROLA & MAZZEO 1998; KATSOULIS & THEOHARATOS 1985; KIM & BAIK 2002; KŁYSIK & FORTUNIAK 1999; KUTTLER 1998; MONTÁVEZ et al. 2000; OKE 1982; SAITOH et al. 1996]. Die Ursachen für die thermischen Unterschiede sind in den verbauten Materialien sowie in der gegenüber dem Umland veränderten Oberflächenstruktur einer Stadt zu suchen: Die tagsüber durch die Einstrahlung aufgenommene Energie wird in den verdichteten Materialien einer Stadt zu einem höheren Grad gespeichert als im Umland; entsprechend mehr Energie kann in Form von Wärme in der Nacht abgegeben werden. Dabei bilden innerstädtische Grünflächen kühle Inseln [FEZER 1995], und selbst

Straßenbäume tragen zur Reduktion der thermischen Belastung bei [ENDLICHER et al. 2008; MAYER & MATZARAKIS 2006].

Bereits 1972 stellten BUECHLY et al. die Frage, ob die 'heat island' auch eine 'death island' sei, denn für den menschlichen Organismus stellt 'Hitze' eine besondere Belastung dar: Dabei wird die Thermoregulation, die in weiten Teilen vom Herz-Kreislauf-System geleistet wird, sehr gefordert. Idealerweise liegt die Körperkerntemperatur des Menschen konstant zwischen 36°C und 37°C. Durch Metabolismus und Bewegung wird im Körper jedoch Wärme erzeugt, welche kontrolliert an die Umgebung abgegeben werden muss. Dies kann auf bewusster Ebene durch entsprechend angepasste Kleidung sowie Schutz vor den Witterungsverhältnissen erfolgen und geschieht im Zusammenspiel mit der unbewussten Ebene, bei der die Wärmeabgabe über die Weite der Blutgefäße in den äußeren Hautschichten geregelt wird: Soll die Wärmeabgabe reduziert werden, so verengen sich diese Blutgefäße; erwärmtes Blut gelangt nur noch in geringem Maße an die Hautoberfläche, so dass auch nur wenig Wärme an die Umgebung abgegeben werden kann. Soll die Wärmeabgabe dagegen erhöht werden, so weiten sich diese Blutgefäße, und es kann mehr warmes Blut aus dem Inneren an die Körperoberfläche gelangen, wo die Wärme an die Umgebung abgegeben wird. Dieser Vorgang wird durch die Verdunstung von Schweiß noch verstärkt, weil dabei dem Körper Energie in Form von Wärme entzogen wird. Witterungsverhältnisse mit hohen Temperaturen, hoher Luftfeuchtigkeit und geringen Windgeschwindigkeiten sind unter dem Begriff 'Schwüle' [SCHARLAU 1941] bekannt und beeinträchtigen die Wärmeabgabe enorm. Hierdurch kann es zur Überhitzung des Organismus kommen.

Die Thermoregulation beansprucht demnach das Herz-Kreislauf-System auf verschiedene Arten: Zum einen muss das System der Blutgefäße flexibel genug sein, um sich beliebig weiten oder verengen zu können. Bei der Erweiterung der Gefäße vergrößert sich das Volumen des Gefäßsystems: Der gleichen Menge Blut steht nun mehr Volumen zur Verfügung, dies kann zu Blutdruckregulationsbeschwerden führen. Um das vergrößerte Blutvolumen in gleicher Zeit durch den Körper pumpen zu können, muss sich zum anderen die Herzfrequenz erhöhen. Besonders bei älteren Menschen ist das Herz-Kreislauf-System oft aber schon vorgeschädigt, so dass das System nur eingeschränkt reagieren kann. Hinzu kommt, dass bei älteren Menschen ebenso wie bei Kindern die Schweißproduktion reduziert ist. Verdunstungskühle dient hier nicht in ausreichendem Maß zur Abkühlung.

OKE untersuchte 1973 erstmalig die Beziehung zwischen der Größe der Stadt und der Intensität der 'städtischen Wärmeinsel'. Dabei fand er einen positiv linearen Zusammenhang, d.h. mit zunehmender Größe der Stadt intensivieren sich auch die thermischen Unterschiede zwischen dem Zentrum einer Stadt und dem Umland. Auch vor diesem Hintergrund ist es von Bedeutung, dass weltweit die Ballungszentren wachsen; 2008 war die Schwelle erreicht, dass die Hälfte der Weltbevölkerung in Städten lebt, bis 2030 werden es etwa zwei Drittel sein [MARTINE 2007]. Dabei ist der stärkste

Zuwachs in Entwicklungsländern zu beobachten: Zusammen mit der Einwohnerzahl steigt auch die in Anspruch genommene Fläche. Doch selbst in Industrieländern, in denen die Einwohnerzahl der Städte nur noch sehr langsam anwächst oder sogar rückläufig ist, steigt die versiegelte Fläche weiter an, denn die bewohnte Fläche pro Kopf als Zeichen des Wohlstandes nimmt weiter zu.

Ballungsräume sind jedoch nicht nur aufgrund der 'Städtischen Wärmeinsel' einem erhöhten Risiko gegenüber thermischer Belastung ausgesetzt, sondern stellen aufgrund der hohen Bevölkerungsdichte bei dem Naturereignis 'Hitzewelle' eine große Anzahl von Personen unter Risiko. Durch die stetige Zunahme urbaner Bevölkerung wird sich zukünftig sowohl das Problem der 'Städtischen Wärmeinsel' als auch das Problem der 'Bevölkerung unter Risiko' weiter verschärfen.

1.2. Stand der Forschung

Das Interesse am Zusammenhang zwischen thermischer Belastung und menschlicher Gesundheit "ist so alt wie die Menschheit selbst" [TRENKLE 1992: 9]. Während der Fokus der Untersuchungen Ende des 19. und zu Beginn des 20. Jahrhunderts auf der physiologischen Anpassung von europäisch-stämmigen Siedlern an zumeist tropische und subtropische Klimate von kolonialen Gebieten lag [vgl. GROBER 1943], verlagerte sich der Schwerpunkt der Forschung ab Mitte des 20. Jahrhunderts auf die Auswirkung von Hitzeereignissen in eher gemäßigten Klimaten.

Dabei sind es oft **Einzelereignisse** mit verheerenden Folgen, die auf die Problematik aufmerksam machen. Untersuchungen in Folge einer Hitzewelle beziehen sich vorwiegend auf einzelne Städte wie St. Louis (USA) [HENSCHER et al. 1969; SCHUMAN 1972], Chicago (USA) [SEMENZA et al. 1996; SEMENZA et al. 1999; WHITMAN et al. 1997] oder Paris (Frankreich) [STÉPHAN et al. 2005], aber auch auf größere Regionen, z.B. Tessin (Schweiz) [CERUTTI et al. 2006], Venetien (Italien) [MASTRANGELO et al. 2007], mittlerer Westen der USA [PALECKI et al. 2001], oder ganze Länder, z.B. Italien [CONTI et al. 2005], Frankreich [FOUILLET et al. 2006], Niederlande [GARSSEN et al. 2005], England und Wales [JOHNSON et al. 2005] sowie Schweiz [GRIZE et al. 2005]. Für die Hitzewelle von 2003 ermitteln ROBINE et al. [2007] sogar die Auswirkungen für ganz Europa, wobei 16 Länder eingeschlossen werden. Die den Studien zugrunde liegenden Daten stammen aus dem jeweiligen Zeitraum der thermischen Belastung. Während sich einige Untersuchungen [HENSCHER et al. 1969; SEMENZA et al. 1996; STÉPHAN et al. 2005] ausschließlich darauf beschränken, ziehen andere als Referenz weitere Daten heran. Diese können einerseits aus einem kühleren Zeitraum eines oder mehrerer vorangehender Jahre stammen, so dass die Abweichung zur Normalität besonders deutlich wird [CERUTTI et al. 2006; CONTI et al. 2005; GRIZE et al. 2005; JONES et al. 1982; ROBINE et al. 2007]; SCHUMAN [1972] verwendet hier in erster Linie die Verhältnisse des nachfolgenden Jahres. Andererseits werden die Charakteristika einer

vorangegangenen Hitzeperiode herangezogen und mit dem erneuten Ereignis verglichen [PALECKI et al. 2001; SMOYER 1998a].

Studien über längere Zeiträume ergänzen die Untersuchungen zu Einzelereignissen. Durch die Analyse von Zeitreihen eines bestimmten Gebietes werden gewisse Gesetzmäßigkeiten belastender Situationen durch die Kombination von meteorologischen Daten und Daten der Gesundheit identifiziert und ihre klimatischen Charakteristika sowie die Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit analysiert [z.B. AULICIEMS et al. 1997; HAJAT et al. 2002; HUYNEN et al. 2001; KYSELÝ 2004; LASCHEWSKI & JENDRITZKY 2002; SAEZ et al. 1995; SMOYER 1998 b]. Der Vergleich einzelner Dekaden untereinander zeigt die Abnahme der saisonalen Sensitivität gegenüber thermischen Verhältnissen seit Mitte des 20. Jahrhunderts [DAVIS et al. 2002; GARSSSEN et al. 2005; LERCHL 1998].

Sowohl in der Untersuchung von Einzelereignissen als auch in der längerer Zeiträume werden durch die Gegenüberstellung von klimatischen Daten einerseits und personen- bzw. raumbezogener Daten andererseits Zusammenhänge zwischen den beiden Größen erkannt und Risikofaktoren identifiziert. Angaben zu **Alter und Geschlecht** der Betroffenen bilden dabei die Basis der personenbezogenen Daten. Durch die Gegenüberstellung dieser Informationen und denen der Temperaturverhältnisse wird deutlich, dass mit zunehmendem Alter die Gefährdung durch thermische Belastung ansteigt. In vielen Studien wird dabei die Bevölkerung in Altersklassen aufgeteilt; aufgrund der Datenverfügbarkeit liegt die Grenze in Industrieländern klassischerweise bei 65 Jahren. Da ab dieser Grenze zwar ein deutlicher Anstieg der Mortalität verzeichnet wird, aber keine physiologische Begründung für das Einsetzen einer Gefährdung bei diesem Alter vorliegt, wurden in letzter Zeit zunehmend andere Altersklassen verwendet. FOUILLET et al. [2006] stellen bereits ab einem Alter von 35 Jahren eine zunehmende Gefährdung fest, wobei die Mortalität zwischen 35 und 44 Jahren bei den Männern signifikant erhöht ist; DÍAZ et al. [2006b] finden die stärkere Beeinträchtigung der Männer gegenüber den Frauen dagegen erst in der Altersklasse zwischen 45 und 64 Jahren. Die Vulnerabilität der Frauen tritt hingegen erst ab einem höheren Alter auf: FOUILLET et al. [2006] finden die Grenze bei 55 Jahren, andere bei 65 Jahren [BORRELL et al. 2006; DÍAZ et al. 2006b]; ab einem Alter von 75 Jahren steigt die Gefährdung noch einmal deutlich an [FOUILLET et al. 2006; ISHIGAMI et al. 2008; REY et al. 2007]. LAIDI et al. [2006] haben die Ursache im Zusammenhang zwischen der thermischen Belastung und der Mortalität gesucht und für Frauen zumeist ein niedrigeres thermisches Optimum als für Männer gefunden; besonders deutlich wird dies in ihrer Untersuchung ab einem Alter von über 64 Jahren.

Die Sterblichkeit von Kleinkindern wird widersprüchlich dargestellt: Während SCHUMAN [1972] im Verlaufe einer Hitzewelle in New York keine erhöhten Zahlen feststellen kann, finden GOUVEIA et al. [2003] bei Kindern unter 15 Jahren und FOUILLET et al. [2006] besonders bei männlichen Säuglingen eine Zunahme an Fällen.

In einzelnen Studien werden weitere Eigenschaften der betroffenen Personen oder Räume auf ihren Einfluss auf die Vulnerabilität hin untersucht. Besonders in den USA wird die **ethnische Zugehörigkeit** der Betroffenen immer wieder als Risikofaktor in die Betrachtungen mit einbezogen [MEDINA-RAMÓN et al. 2006; O'NEILL et al. 2005; SCHUMAN 1972; SEMENZA et al. 1996]. Danach sind Personen europäischer Herkunft weniger stark durch Hitze beeinträchtigt als Personen mit afrikanischem oder asiatischem Hintergrund. Es bleibt jedoch offen, ob die gefundenen Unterschiede tatsächlich physiologischer Natur sind oder nicht eher einem geringeren sozioökonomischen Status geschuldet werden müssen.

Die **ökonomische Situation** wird nur selten direkt über das Familieneinkommen erfasst [SCHUMAN 1972]. Stehen diesbezügliche Informationen nicht zur Verfügung, so werden sie beispielsweise durch den Bildungsgrad [BORRELL et al. 2006; MEDINA-RAMÓN et al. 2006; MICHELOZZI et al. 1999] oder den pro Kopf zur Verfügung stehenden Wohnraum [MICHELOZZI et al. 1999] operationalisiert. Allgemein wurde ein negativer Zusammenhang zwischen den genannten Variablen und dem Mortalitätsrisiko festgestellt.

SEMENZA et al. [1996] berücksichtigten in ihrer Fall-Kontroll-Studie die **Wohnsituation** explizit. Dabei gehen die Dachform, die Lage der bewohnten Etage sowie die Gesamtzahl der Etagen im Haus in die Untersuchung mit ein; letztere Variable findet auch bei SMOYER [1998a/b] Verwendung. Hier kann zusammengefasst werden, dass ein Flachdach oder eine Wohnung direkt unter dem Dach wenig Schutz bieten. Das Vorhandensein einer Klimaanlage oder das Aufsuchen klimatisierter Räume senkt dagegen das Mortalitätsrisiko signifikant [O'NEILL et al. 2005; SEMENZA et al. 1996; SMOYER 1998 b; TAN et al. 2007].

Für die Hitzewelle 1995 in Chicago stellen SEMENZA et al. [1996] fest, dass jegliche Art sozialen Kontakts – wie eine Vereinsmitgliedschaft oder das Halten eines Haustieres – zu einem verringerten Sterberisiko führt. Auch in Paris wird nach dem Sommer 2003 das fehlende **soziale Netzwerk** als wesentlicher Risikofaktor genannt [GRYNSZPAN 2003].

Darüber hinaus können HENSCHEL et al. [1969] feststellen, dass **chronische Krankheiten**, Multimorbidität und Bettlägrigkeit zu einem erhöhten Risiko führen; nachfolgende Studien bestätigen dies [REY et al. 2007; SEMENZA et al. 1996].

Eine differenzierte Untersuchung **räumlicher Faktoren** erfolgt eher makroskalig und über längere Zeiträume. Die Betrachtung mehrerer Orte oder Gebiete verschiedener Breitenlagen ermöglicht Vergleiche über die unterschiedliche Sensitivität der jeweils untersuchten Bevölkerung gegenüber thermischer Belastung. Den vergleichenden Studien liegen dabei häufig einzelne Großstädte zugrunde [DAVIS et al. 2003b; GOSLING et al. 2007; HAJAT et al. 2006; ISHIGAMI et al. 2008], gelegentlich werden dabei suburbane verstärkte Gemeinden in der Analyse berücksichtigt, jedoch nicht eigenständig untersucht [CURRIERO et al. 2002]; weniger dicht besiedelte Räume werden als Regionen in die Untersuchung mit einbezogen [KEATINGE et al. 2000].

Aus diesen Studien wird ersichtlich, dass in Abhängigkeit von der Lage des untersuchten Gebietes unterschiedliche Schwellenwerte in der Vulnerabilität der Bevölkerung gegenüber thermischer Belastung bestehen: Sie steigen auf der Nordhemisphäre von Norden nach Süden an [CURRIERO et al. 2002; KEATINGE et al. 2000]. Diese Gegenüberstellung von Räumen ist insbesondere in explizit darauf ausgelegten Studien möglich, da durch die Verwendung uneinheitlicher Herangehensweisen der Vergleich anhand mehrerer Einzelstudien erschwert ist. In mesoskaligen Untersuchungen, die z.B. sechs Départements Frankreichs [LAAIDI et al. 2006] oder fünf kleinere Stadtgebiete in Süd-Ontario (Kanada) [SMOYER et al. 2000] betrachten, liegen geographische und soziale Kennzeichen der Räume im Vordergrund, wozu u. a. der Versiegelungsgrad gehört.

Seltener als diese punktuellen Analysen werden flächendeckende Untersuchungen durchgeführt. Auch sie können im makroskaligen Bereich [Europa: ROBINE et al. 2007; Frankreich: FOUILLET et al. 2006] angelegt sein, finden aber eher auf mesoskaliger Ebene Anwendung. Um das räumliche Muster der Mortalität in Städten zu erklären, differenzieren HENSCHEL et al. [1969], SCHUMAN [1972] und SMOYER [1998 b] Risikofaktoren im jeweiligen Untersuchungsgebiet nach statistischen Raumeinheiten. Lediglich für Ohio (USA) werden in einer solchen Untersuchung neben städtischen Raumeinheiten auch solche mit ländlicher Prägung betrachtet [SHERIDAN 2002; SHERIDAN & DOLNY 2003].

In **Deutschland** sind die Untersuchungen auf diesem Gebiet bisher eher verhalten. Anhand einer 50-jährigen Zeitreihe zeigt LERCHL [1998], dass der thermische Einfluss auf den saisonalen Verlauf der Mortalität abgenommen hat; die Amplitude zwischen den winterlichen und den sommerlichen Werten ist in Deutschland zwischen 1946 und 1995 insgesamt geringer geworden. Für den südwest-deutschen Raum stellen LASCHEWSKI & JENDRITZKY [2002] die Bedeutung von kurzfristiger Akklimatisation dar. KOPPE [2005] greift diesen Ansatz auf und entwickelt mit HeRATE eine Methode, welche die kurzfristige Akklimatisation in die Bewertung der thermischen Verhältnisse über die Gefühlte Temperatur mit einbezieht. Nach der Hitzewelle von 2003 steigt das Interesse an der Thematik an. Sowohl im Bereich der Morbidität [PFAFF 2003] als auch im Bereich der Mortalität [HEUDORF & MEYER 2005; KOPPE et al. 2004] werden Studien durchgeführt, die sich allerdings auf den südwest-deutschen Raum konzentrieren. Zunehmend wird das Risiko der Gefährdung durch thermische Belastung als Problem wahrgenommen [BECKER 2005; BECKER et al. 2007; JENDRITZKY & KOPPE 2008; VON WICHERT 2004; VON WICHERT 2008]. Auf der Grundlage von aufgetretenen Hitzeepisoden während des 20. Jahrhunderts stellen TINZ et al. [2008] Szenarien zu ihrer Häufigkeit und Dauer im 21. Jahrhundert auf.

Für den Raum **Berlin-Brandenburg** finden sich zu Beginn der vorliegenden Arbeit noch keine systematischen Untersuchungen. Zwar existieren bioklimatologische Arbeiten für das Stadtgebiet Berlins von MÜLLER [2005] sowie im Rahmen des 'Digitalen Umweltatlas Berlin' [www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas], den die Senatsverwaltung

für Stadtentwicklung herausgibt, ein ausdrücklicher Zusammenhang zu Gesundheitsdaten wird jedoch nicht hergestellt. Für Ost-Berlin wird von HAASE & TUROWSKI [1987] die saisonale Schwankung der Mortalitätsfälle dargestellt und nach verschiedenen Todesursachen aufgeschlüsselt. GRÄF [2002] führt diesen Ansatz für die Jahre 1986 bis 1995 fort. Speziell auf 'Hitzebelastung' wird dabei jeweils nicht eingegangen. Im Rahmen einer Pilotstudie [STOCK & TÓTH 1996] zu möglichen Auswirkungen von Klimaänderungen auf das Land Brandenburg wird dieses Thema zwar angerissen, aber nur sehr kurz und allgemein abgehandelt. Zwischenzeitlich wurde von SCHERBER [2008] eine fünf Jahre umfassende Studie hinsichtlich der Auswirkungen von Hitzewellen in Berlin auf Herz-Kreislauf- und Atemwegserkrankungen vorgelegt.

1.3. Ziel der Untersuchung

Obwohl Berlin die einwohnerreichste Stadt Deutschlands ist, existieren bisher (Stand: 2005) keine systematischen Untersuchungen zur Vulnerabilität der Bevölkerung hinsichtlich thermischer Belastung. Diese Lücke soll mit der vorliegenden Arbeit geschlossen werden. In diesem Zusammenhang muss auch die hier herrschende Schwelle bestimmt werden, ab der die Bevölkerung durch Hitze negativ beeinflusst wird.

Die wenigen Studien, die den jeweiligen Grad der Verstädterung im Blick haben, zeigen kein einheitliches Bild bezüglich der Einwirkung dieses Faktors auf die Mortalität. Während SMOYER et al. [2000] einen Einfluss der Verstädterung feststellen, wird für Ohio (USA) nachgewiesen, dass hitzebedingte Mortalität durchaus auch ein Problem ländlicher Räume ist [SHERIDAN 2002; SHERIDAN & DOLNY 2003]. Darüber hinaus haben andere Autoren zwar eine erhöhte Sterblichkeit in Innenstädten aufgezeigt, jedoch dabei die dort höhere Einwohnerdichte nicht immer berücksichtigt [z.B. HENSCHEL et al. 1969]. Aufgrund der historischen Entwicklung (Mauerbau und politische Wende) existiert im Raum Berlin-Brandenburg die Möglichkeit, dieser Frage erneut nachzugehen, da auf engstem Raum stark versiegelte Gebiete mit einer der höchsten Bevölkerungsdichten Deutschlands (Berliner Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg) neben ländlich geprägten Räumen liegen, die die geringste Einwohnerdichte Deutschlands aufweisen (Brandenburger Landkreis Uckermark).

Infolgedessen sollen im Rahmen dieser Studie folgende Fragen beantwortet werden:

- Auf welcher Ebene liegt im Raum Berlin-Brandenburg die Sensitivitätsschwelle, ab welcher thermische Verhältnisse zur Belastung werden?
- Wann gab es nach 1990 im Raum Berlin-Brandenburg thermisch belastete Perioden?
- Sind während thermisch belasteter Perioden im Raum Berlin-Brandenburg räumliche Differenzierungen der Mortalität zu erkennen?
- Falls Differenzierungen nachzuweisen sind, welche Ursachen lassen sich hierfür diskutieren?

2. Daten

Für die vorliegende retrospektive Untersuchung wurde ausschließlich auf bereits vorhandene Daten zurückgegriffen. Die Daten wurden im Routinebetrieb der jeweiligen Organisation (Deutscher Wetterdienst) bzw. aufgrund staatlicher Anordnung (Statistische Ämter) erfasst und für diese Arbeit zur Verfügung gestellt. Durch die Verwendung von Sekundärdaten gelang es, mit relativ geringen finanziellen Mitteln eine Totalerhebung zu erhalten.

2.1. Klima

Für die Beurteilung der klimatischen Verhältnisse stehen zwei verschiedene Datenreihen zur Verfügung. Zum einen sind es tägliche Werte (1951 – 2006) von 11 Klimaparametern, zum anderen sind es 3-stündliche Werte (1990 – 2006), die neben der Lufttemperatur in erster Linie Werte der Gefühlten Temperatur liefern.

2.1.1. Tägliche Werte

Von 34 Klimastationen des DWD standen Datenreihen über 56 Jahre (1951 – 2006) zur Verfügung. 14 Stationen davon liegen in Berlin und Brandenburg, die restlichen in den umliegenden Bundesländern (Sachsen, Thüringen, Sachsen-Anhalt und Mecklenburg-Vorpommern) in räumlicher Nähe zur Grenze Brandenburgs.

Die Datenreihen geben zu elf klimatischen Messgrößen jeweils einen Tageswert an. Je nach Parameter kann es sich dabei um einen Extrem- oder Mittelwert handeln, aber auch um eine über 24 Stunden gebildete Summe (vgl. Tabelle 2-01). Auf den thermischen Wirkungskomplex haben acht der elf Parameter Einfluss. Insgesamt wird die Lufttemperatur mit der Angabe von drei Werten (Maximum, Mittelwert, Minimum) am detailliertesten wiedergegeben.

Tab. 2-01: Klimaparameter der Datenreihen auf Tageswert-Basis.

Kürzel	Beschreibung	Einheit
T _{max}	Tagesmaximum der Lufttemperatur	°C
T _{mit}	Tagesmittel der Lufttemperatur	°C
T _{min}	Tagesminimum der Lufttemperatur	°C
nied	Tagessumme des Niederschlags	mm
relf	Tagesmittel der relativen Luftfeuchte	%
ludr	Tagesmittel des Luftdrucks	hPa
dadr	Tagesmittel des Wasserdampfdrucks	hPa
sonn	Tagessumme der Sonnenscheindauer	h
bewo	Tagesmittel der Bedeckung mit Wolken	1/8
stra	Tagessumme der Globalstrahlung	J/cm ²
wind	Tagesmittel der Windgeschwindigkeit	m/s

2.1.2. Drei-Stunden-Werte

Weiterhin standen für 11 Stationen Temperatur-Daten zum Zeitpunkt synoptischer Messungen zur Verfügung. Die Stationen liegen überwiegend in den Bundesländern Berlin und Brandenburg, eine auch in Sachsen-Anhalt, und stimmen weitgehend mit den zuvor genannten Klimastationen überein.

Im Abstand von drei Stunden wird zusätzlich zur Lufttemperatur auch die Gefühlte Temperatur angegeben, der unter anderem auch Daten nicht-automatischer Beobachtungen zugrunde liegen.

Diese Datenreihen wurden auf Plausibilität geprüft, dabei zeigten sich Datenlücken. Fehlende Einzelwerte konnten im weiteren Vorgehen durch Mittelwertbildung aus oder Berücksichtigung von zwei bzw. drei Zeitpunkten verringert werden. Beim Fehlen mehrerer Zeitpunkte oder ganzer Tage wurden die Zellen mit 'no data' gekennzeichnet.

2.1.3. Auswahl der Stationen

Um das Datenmaterial für die vorliegende Untersuchung zu begrenzen, wurden aus dem beschriebenen Stationspool sechs Stationen ausgewählt. Notwendiges Kriterium war das Vorliegen beider Datenreihen an einer Station: Sowohl die Tages- als auch die Drei-Stunden-Werte mussten zur Verfügung stehen.

Aus den verbleibenden zehn Stationen wurden letztlich sechs aufgrund ihrer Lage im Untersuchungsraum ausgewählt (vgl. Tabelle 2-02): Zu den zwei Berliner Messpunkten in Dahlem und Tempelhof kamen vier im Umland hinzu, wobei diese einen gewissen Abstand zum Stadtzentrum von Berlin sowie eine gleichmäßige Verteilung um Berlin herum haben sollten; die Wahl fiel auf Neuruppin im Nordwesten, Angermünde im Nordosten, Wittenberg im Südwesten sowie Cottbus im Südosten (vgl. auch Abbildung 3.01).

Tab. 2-02: Verwendete Stationen des Deutschen Wetterdienstes

Station	öLänge	nBreite	Höhe ü.M.	Name
17001	13°18'00"	52°28'12"	51	Berlin-Dahlem
17002	13°24'00"	52°27'36"	48	Berlin-Tempelhof
17006	12°49'12"	52°54'00"	38	Neuruppin
18001	14°00'00"	53°01'48"	55	Angermünde
22011	12°39'00"	51°53'24"	105	Wittenberg
23001	14°19'12"	51°46'48"	70	Cottbus

2.2. Mortalität

Die Daten der Mortalität liegen für beide Bundesländer über einen Zeitraum von 17 Jahren vor (Januar 1990 bis Dezember 2006). Sie sind nach Tageswerten aufgeschlüsselt (zeitliche Auflösung), wobei sowohl Werte für das ganze Bundesland vorhanden sind als auch für die jeweils nächst kleinere Verwaltungseinheit; in Berlin sind das die einzelnen Bezirke, in Brandenburg entsprechend Landkreise und kreisfreie Städte (räumliche Auflösung).

Die Datensätze auf Bundeslandebene werden nach dem Geschlecht differenziert sowie hinsichtlich des Alters in zwei Gruppen geteilt: Es wird zwischen den unter und den über 50-Jährigen unterschieden. Damit entstehen vier Bevölkerungsgruppen (demographische Auflösung). Die Datensätze auf kommunaler Ebene büßen zugunsten der stärkeren räumlichen Auflösung an Informationsgehalt ein: Aufgrund des Datenschutzes konnte hier die Altersunterteilung nicht mehr ermöglicht werden.

Die Daten werden von den Standesämtern aufgrund der Sterbefallzählkarten erhoben. Gemeldet werden alle Fälle, die zum Zeitpunkt des Todes in einem der beiden Bundesländer als wohnhaft gemeldet waren, unabhängig davon, ob sie sich dann dort aufgehalten haben oder nicht. Nicht erfasst werden Totgeburten, nachträglich beurkundete Kriegssterbefälle und gerichtliche Todeserklärungen [Landesbetrieb für Datenverarbeitung und Statistik 2005].

Auch diese Daten wurden auf Plausibilität und Vollständigkeit geprüft. Sowohl in den Daten von Berlin als auch in denen von Brandenburg fehlten Datensätze. In Brandenburg waren das für einzelne Landkreise bzw. kreisfreie Städte bis zu 77 Fälle pro Jahr. Die Berliner Bezirke waren wesentlich weniger lückenhaft: Pro Jahr fehlten hier maximal fünf Datensätze, insgesamt waren aber auch nur sieben Bezirke betroffen. Ein Vergleich der Tagessummen auf Landesebene ergab, dass an den fehlenden Tagen kein Todesfall aufgetreten war. Die Datensätze wurden ergänzt und mit dem Wert 'Null' gefüllt. Die Gesamtdaten beider Länder sind ohne Lücken.

2.3. Umwelt- und Sozial-Faktoren

Als Daten der Umwelt stehen Angaben zur Landnutzung zur Verfügung; der vorliegende Sozial-Faktor gibt den Anteil der über-65-Jährigen am Anteil der Bevölkerung wider. Beide Datenreihen wurden aus Statistischen Jahrbüchern entnommen und liegen bis auf kommunale Ebene aufgelöst vor. Wie die vorhergehenden Daten umfasst der zeitliche Umfang die Jahre 1990 bis 2006, jedoch ist die zeitliche Auflösung wesentlich geringer: Es wird lediglich der Stand zum jeweiligen Jahresende (31.12.) angegeben.

2.3.1. Grad der Versiegelung

Bei der Landnutzung wurde zunächst die Gesamtfläche der einzelnen räumlichen Ebenen angegeben, dann die Flächensummen der jeweiligen Landnutzung. Aus den Werten der Kategorien 'Gebäude- und Freiflächen' sowie 'Betriebs-' und 'Verkehrsflächen' wurde anschließend die Landnutzung der 'versiegelten Flächen' zusammengesetzt. Der Anteil hiervon im Vergleich zur Gesamtfläche wird in Prozent angegeben.

Da keine Daten für das Jahr 1993 zur Verfügung standen, wurden sie aus dem Mittelwert der Flächenangaben von 1992 und 1994 generiert.

2.3.2. Anteil der über-65-Jährigen

Da für das Land Berlin auf kommunaler Ebene Informationen über das Alter der Bevölkerung lediglich in bereits vorgegebenen Altersklassen zu Verfügung standen (unter 20, 20 bis unter 45, 45 bis unter 65, 65 und mehr), konnte die Grenzziehung der Altersgrenze nicht parallel zu derjenigen der Mortalitätsdaten erfolgen (unter 50, 50 und mehr). Obwohl für das Land Brandenburg auf kommunaler Ebene Informationen über das Alter der Bevölkerung in Jahresschritten zur Verfügung standen, wurden sie in der Aufteilung den Berliner Daten angepasst, so dass jetzt für das gesamte Untersuchungsgebiet die Summe der über-65-jährigen Bevölkerung auf kommunaler Ebene vorliegt. Mithilfe der Gesamt-Bevölkerungszahl kann jeweils der Anteil dieser Altersklasse in Prozent bestimmt werden.

2.4. Lage und Verlauf der Daten

Bei den klimatologischen Daten unterliegen Lufttemperatur, Dampfdruck und Sonnenscheindauer einer saisonalen Schwankung, bei der in den Sommermonaten das Maximum, in den Wintermonaten das Minimum erreicht wird (vgl. Abbildung 2.01). Da diese Größen in die Gefühlte Temperatur eingehen, ist auch sie einer entsprechenden Saisonalität unterworfen.

Die Mortalität unterliegt ebenfalls einer saisonalen Schwankung, die allerdings gegenläufig zu der klimatischen ist: Gegen Ende der Wintermonate wird hier das Maximum erreicht, gegen Ende der Sommermonate erreichen die Tagessummen ihr Minimum; dieser Verlauf ist typisch für Mitteleuropa [z.B. LERCHL 1998]. Durchbrochen wird dieser Rhythmus im Sommer gelegentlich durch Einzelereignisse, aus den vorliegenden Daten sticht beispielsweise ein Peak im Sommer 1994 deutlich hervor.

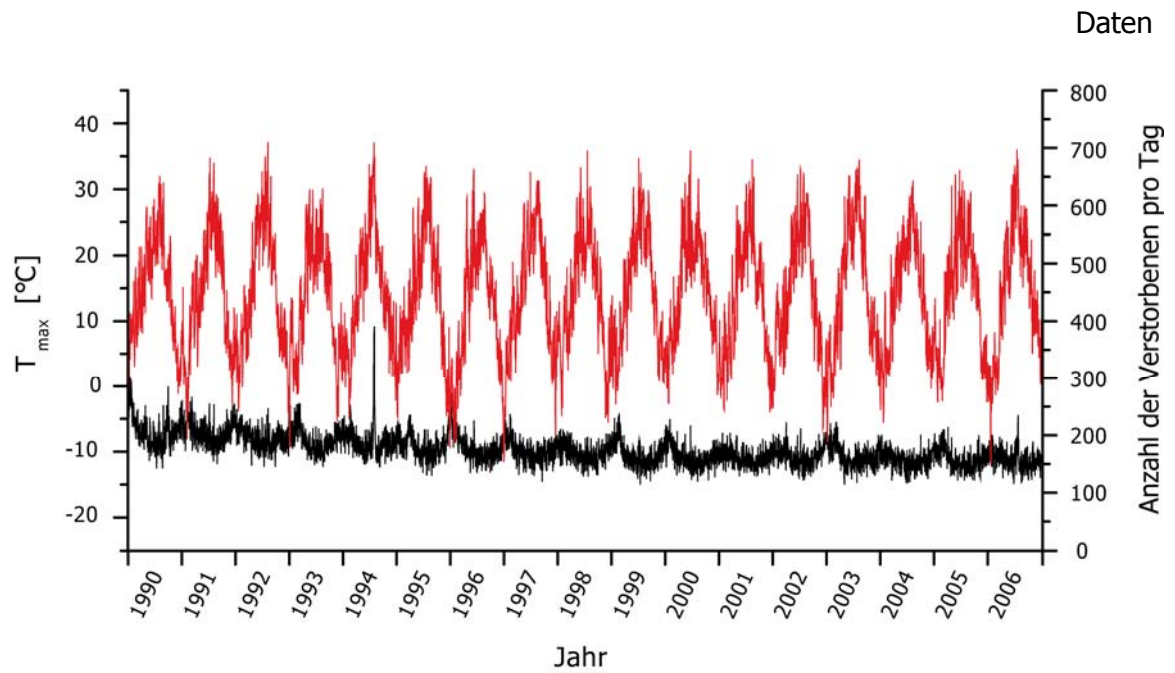


Abb. 2.01: Saisonalität der über sechs Stationen gemittelten Tagesmaximum-Temperatur sowie der Mortalität in Berlin und Brandenburg im Zeitraum von 1990 bis 2006.

[Daten: Deutscher Wetterdienst, Statistische Landesämter Berlin und Brandenburg; Darstellung: K. Gabriel]

3. Bestimmung von Hitze und Hitzewellen

'Hitze' wird definiert als starke Wärme, die als unangenehm empfunden wird [BROCKHAUS-ENZYKLOPÄDIE 1989, Bd. 10: 117].

Weitere Begriffe, die eine thermische Belastung ausdrücken, sind 'Schwüle' sowie 'Permanenter Welkepunkt' bzw. 'Dürre'. Ersterer beschreibt den Zustand einer mit Wasserdampf stark gesättigten Umgebungsluft und bezieht sich demnach auf das Zusammenspiel von Temperatur und Luftfeuchtigkeit. Die für den Menschen entstehende Belastung resultiert aus der herabgesetzten Möglichkeit der Transpiration und der damit verringerten Abgabe von Körperwärme. Das zweite Begriffspaar bezieht sich auf die oft mit hohen Temperaturen verbundene Niederschlagsarmut bzw. (Boden-)Wasserarmut. Hierbei entsteht die Belastung für einen Organismus durch die fehlende Möglichkeit, den durch Transpiration oder Evaporation hervorgerufenen Flüssigkeitsverlust adäquat auszugleichen.

Während die eben genannten Begriffe einer wissenschaftlichen Definition unterliegen und Formeln zur Bestimmung ihres Schweregrades vorhanden sind [vgl. z.B. SCHARLAU 1941: 515 für 'Schwüle' und z.B. HARTGE & HORN ³1999: 180 für 'Permanenter Welkepunkt'], existiert für 'Hitze' bisher eine international einheitliche und allgemeingültige Definition oder eine mathematische Formel noch nicht. Vielmehr finden sich in der Literatur verschiedene Herangehensweisen und Methoden der Bestimmung.

3.1. Methoden zur Bestimmung von Hitze

3.1.1. Fixe Werte

Die einfachste Herangehensweise bedient sich dabei eines mehr oder weniger willkürlich festgelegten Wertes des Tagesmittels oder des Tagesmaximums der Lufttemperatur. In der Literatur werden für T_{\max} beispielsweise Werte von 27°C für Frankreich [FOUILLET et al. 2008] oder Werte von 35°C für Adelaide und Shanghai [NITSCHKE et al. 2007; TAN et al. 2007] als Grenzwerte verwendet.

3.1.2. Perzentile

Unter der Annahme, dass 'Hitze' ein selten auftretendes Phänomen ist, wird ein Schwellenwert für das Untersuchungsgebiet oft über einen Perzentilwert der im Untersuchungszeitraum auftretenden Temperaturen ermittelt. Ein häufig verwendeter Wert ist das 95er Perzentil (P95) [z.B. DÍAZ et al. 2006; GOSLING et al. 2007; ISHIGAMI et al. 2008; REY et al. 2007], zumal wenn Werte des gesamten Jahres der Auswertung zugrunde liegen. SAEZ et al. [1995] haben bei der Betrachtung lediglich des Sommerhalbjahres den Wert auf 85 (P85) herabgesetzt. Das bedeutet, dass die obersten

5 % (resp. 15 %) der aufgetretenen Temperaturen als 'Hitze' betrachtet werden. Anwendung findet diese Methode auf den Tagesmittelwert [ISHIGAMI et al. 2008], das Tagesmaximum [DÍAZ et al. 2006; GOSLING et al. 2007] bzw. die Kombination aus Maximum und Minimum [REY et al. 2007]. Nach MEDINA-RAMÓN et al. [2006] tritt 'Hitze' an den Tagen auf, an denen der nächtliche Tiefstwert das 99er Perzentil (P99) nicht unterschreitet. Ein mithilfe von Perzentilen ermittelter Wert variiert für verschiedene Räume und unterschiedliche Zeitspannen, so dass sich charakteristische, individuelle Grenzwerte aufgrund der geographischen Lage ergeben (z.B. 29,4°C für London und 34,0°C für Lissabon [GOSLING et al. 2007]). Diese Werte sagen jedoch nur etwas über die Häufigkeit des Auftretens bestimmter thermischer Werte aus, nichts aber über ihre Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit.

3.1.3. Regression von Temperatur und Mortalität (Hockey-Stick-Methode)

Der Zusammenhang von thermischer Belastung und menschlichem Wohlbefinden wird durch die graphische Gegenüberstellung von Temperatur und Daten der Gesundheit hergestellt – wobei letztere in der Regel Mortalitätsdaten sind. Seit 1976 [ROGOT & PADGET 1976] haben verschiedene Autoren für die mittleren Breiten einen U-, V- oder J-förmigen Zusammenhang (vgl. Abbildung 3.03) zwischen den beiden Variablen in ihren Untersuchungen belegt, z.B. CURRIERO et al. [2002] für Nordamerika, GARSSSEN et al. [2005], HUYNEN et al. [2001], KOVATS et al. [2004] oder KUNST et al. [1993] für Europa. Aufgrund der aus den Daten resultierenden graphischen Form wird auch von der 'Hockey-Stick-Methode' gesprochen. Dabei wird im (langen) absteigenden Ast zunächst der Jahresgang der Mortalität widergespiegelt: Mit steigenden Temperaturen zum Sommer hin nimmt die Mortalität ab, während sie im Winter ihr Maximum erreicht. Der (kürzere) aufsteigende Ast dagegen stellt die Sensitivität der zugrunde liegenden Bevölkerung gegenüber hohen Temperaturen dar, so dass der Wendepunkt ('threshold') demnach als thermisches Optimum anzusehen ist. In der Literatur wird er als singulärer Wert [z.B. BALLESTER et al. 1997; CURRIERO et al. 2002; DÍAZ et al. 2002a/b; GARSSSEN et al. 2005; GOSLING et al. 2007; HUYNEN et al. 2001; KUNST et al. 1993], aber auch als Temperaturspanne von 3 K angegeben [KEATINGE et al. 2000; KYSELÝ & HUTH 2004; LAAIDI et al. 2006]. Die Methode der 'threshold'-Bestimmung wird auf Werte der Tagesmaximum-Temperatur [z.B. DÍAZ et al. 2002a/b], häufiger jedoch auf ihre Tagesmittelwerte [z.B. BALLESTER et al. 1997; CURRIERO et al. 2002; GARSSSEN et al. 2005; KUNST et al. 1993] angewendet; verschiedentlich findet sie auch Anwendung in Bezug auf thermische Indizes, wie die in den USA verwendete 'Apparent Temperature' (AT) [DAVIS et al. 2002; DAVIS et al. 2003a/b].

3.1.4. Thermische Indizes

Die Verwendung thermischer Indizes stellt eine komplexere Herangehensweise als die bisher beschriebenen dar, da hier über die Lufttemperatur hinaus noch weitere

meteorologische Parameter (wie z.B. Luftfeuchtigkeit oder Windgeschwindigkeit) herangezogen werden. Bei manchen Indizes werden darüber hinaus humane Parameter (wie Alter, Geschlecht, Art der Bekleidung oder Bewegung) berücksichtigt, da sie die individuelle Sensitivität des Menschen gegenüber thermischer Belastung beeinflussen. In der vorliegenden Literatur wurde im Zusammenhang mit einer Grenzwertbestimmung für Hitze die Anwendung von lediglich der in Tabelle 3-01 genannten Indizes gefunden. Bei den thermischen Indizes sind Belastungsklassen und ihre Grenzwerte zwar vorgegeben, zumindest bei der 'Perceived Temperature' existiert mit HeRATE auch eine Methode der Berücksichtigung intra-annueller Akklimatisation [vgl. KOPPE 2005].

Tab. 3-01: Zusammenstellung und Beschreibung der in der vorliegenden Literatur verwendeten Indizes.

Name	Meteorologische Parameter	Humane Parameter	Quelle/Verwendung
Apparent Temperature	Lufttemperatur Relative Luftfeuchtigkeit Windgeschwindigkeit	---	DAVIS et al. 2002 DAVIS et al. 2003a/b
Humidex	Lufttemperatur Relative Luftfeuchtigkeit	---	CONTI et al. 2005 MASTRANGELO et al. 2007
Gefühlte Temperatur (Perceived Temperature)	Lufttemperatur Relative Luftfeuchtigkeit Windgeschwindigkeit Bewölkung	Alter Geschlecht Gewicht Art der Bekleidung Art der Bewegung	LASCHEWSKI & JENDRITZKY 2002

Unter dem Arbeitstitel 'Universal Thermal Climate Index' (UTCI) wurde in den letzten Jahren ein weiteres Modell entwickelt, das physiologische Prozesse des menschlichen Wärmehaushalts genauso detailliert berücksichtigt wie die Strahlungsverhältnisse der (outdoor) Umgebung. Das Ergebnis wird als Temperatur ausgegeben und entspricht in Abhängigkeit der regionalen thermischen Verhältnisse einer Belastungsklasse; deren Grenzen sollen mithilfe von HeRATE der kurzfristigen Akklimatisation angepasst werden. Da die Entwicklungsphase zeitlich parallel zu dieser Studie verlief und noch nicht vollständig abgeschlossen ist (Stand: 15.04.2009³), liegen zurzeit noch keine Untersuchungen vor, in denen dieses Modell Anwendung findet.

3.1.5. Diskussion der Methoden

Eine methodischer Fortschritt in der Anwendung der Methoden (d.h. z.B. bis in die 1980er Verwendung willkürlicher Grenzen, danach Perzentile und seit 2001 'threshold') ist aus der vorliegenden Literatur nicht zu erkennen; bis in jüngste Zeit werden alle drei

³ Nach Informationen im Rahmen der 'Training School on UTCI', Warschau, 04. bis 07. April 2009

Methoden parallel verwendet, was insbesondere die Vergleichbarkeit von Ergebnissen in wissenschaftlichen Untersuchungen zum Thema 'Hitzebelastung' erschwert.

Da auf den Wärmehaushalt des Menschen neben der Lufttemperatur weitere klimatische Faktoren einwirken, spiegeln die Indizes ein präziseres Bild der meteorologischen Situation als einzelne Parameter wider. Mit der Gefühlten Temperatur werden sogar individuelle Humanparameter berücksichtigt, so dass der Grad der individuellen Vulnerabilität gegenüber der thermischen Belastung festgestellt werden kann. Die Berechnung erfordert eine entsprechende Anzahl von Variablen, die oft aber nur schwer zu erheben sind. So muss z.B. die Erfassung der Bewölkungsart durch geschulte Beobachter erfolgen. Sie wird jedoch im Zuge der Technisierung und Automatisierung – nicht nur in Deutschland – immer seltener durchgeführt. Die Maschen des Beobachtungsnetzes werden immer größer, und eine flächendeckende thermische Beurteilung kann nur über rechnerintensive Modellierung erfolgen. Hinzu kommt, dass die Formel zur Berechnung der Gefühlten Temperatur ein mehrere Seiten umfassender Algorithmus in der Programmiersprache FORTRAN ist, der nicht jedermann zugänglich ist. Dieser Nachteil soll sich mit Fertigstellung des UTCI ändern. Als weiterer Kritikpunkt kann angeführt werden, dass der im Modell angenommene Mensch, der 'Klima-Michel', nicht zu der vulnerablen Bevölkerungsgruppe gezählt werden kann. Während der 'Klima-Michel' ein Durchschnitts-Mann mittleren Alters ist [JENDRITZKY et al. 1990], sind die gefährdeten Personen eher Seniorinnen.

Bei der Verwendung von Perzentilen oder der Hockey-Stick-Methode wird zumeist nur die Lufttemperatur berücksichtigt; andere, den Wärmehaushalt beeinflussende Größen werden vernachlässigt. Da die Lufttemperatur auch von automatischen Stationen erhoben werden kann, ist die Anwendung dieser beiden Methoden weltweit einfach möglich, gleichzeitig ist das Netz der Datenverfügbarkeit engmaschiger. Untersuchungen haben zudem gezeigt, dass die Lufttemperatur der wichtigere Parameter ist. Obwohl es als positiv anzuführen ist, dass der ermittelte Wert (bzw. die ermittelte Spanne) für eine bestimmte Zeitreihe einer bestimmten Station charakteristisch ist, ist diese Methode gleichzeitig zu kritisieren: In beiden Verfahren, in der Anwendung von Perzentilen als auch in der Hockey-Stick-Methode, wird der ermittelte Grenzwert bei langen Zeitreihen einem Mittelwert gleichen, der Veränderungen über die Zeit nicht gerecht werden kann; beispielsweise werden bei einem ansteigenden Trend in der ersten Hälfte weniger Grenzwertüberschreitungen festzustellen sein als in der zweiten Hälfte.

Willkürlich festgesetzte Grenzwerte, zu denen auch die in Deutschland verwendeten 'Sommer-' und 'Hitzetage' gezählt werden können (Überschreitung der Lufttemperatur von 25°C bzw. 30°C im Tagesverlauf), können als Charakterisierung im klimatologischen Sprachgebrauch dienen, halten jedoch wissenschaftlichen Ansprüchen zur Bestimmung thermischer Belastung nicht stand.

3.2. Definition einer Hitzewelle

Als Hitzewelle wird eine mehr oder weniger lang anhaltende Periode mit Hitzebelastung bezeichnet. Auch dabei existieren mehrere Definitionen. Neben der Frage des zeitlichen Umfangs gibt es unterschiedliche Meinungen besonders in Hinblick auf die Frage, ob lediglich die Belastung am Tage oder auch während der Nacht mit einbezogen werden soll. Für die in der Literatur am häufigsten verwendete Festlegung muss das Tagesmaximum an drei Tagen in Folge eine bestimmte Schwelle überschreiten [GARSSSEN et al. 2005; HUYNEN et al. 2001; KYSELÝ et al. 2000; MASTRANGELO et al. 2007; NITSCHKE et al. 2007; REY et al. 2007]. REY et al. [2007] ziehen zum Tagesmaximum das Tagesminimum heran. In den Niederlanden dagegen müssen mindestens zwei weitere Tage auch eine nächst niedrigere Schwelle des Tagesmaximums überschreiten [vgl. GARSSSEN et al. 2005; HUYNEN et al. 2001], um den Tatbestand einer Hitzewelle zu erfüllen. Zusätzlich zu der zweiten Tagesmaximum-Schwelle darf bei KYSELÝ et al. [2000] auch der Mittelwert der gesamten Periode einen bestimmten Wert nicht unterschreiten.

DÍAZ et al. [2002b] führen dagegen an, dass extreme Hitze meist lediglich ein bis drei Tage anhält und nur selten vier oder mehr stark belastete Tage in Folge auftreten. Vom Akklimatisationsgrad der Bevölkerung machen SMOYER-TOMIC et al. [2003] die Vulnerabilität abhängig und setzen die Minstdauer einer Hitzewelle in Kanada bei zwei Tagen an.

3.3. Anwendung auf Berlin-Brandenburger Daten

Aus der Diskussion wird deutlich, dass willkürlich festgesetzte Grenzwerte wissenschaftlichen Anforderungen nicht gerecht werden und damit für die hier behandelte Problematik nicht adäquat sind; daher wird in der vorliegenden Arbeit auf ihre Anwendung zur Ermittlung thermischer Belastung verzichtet. Zunächst wird demnach zur Bestimmung des Hitze-Grenzwertes das 95er Perzentil der Lufttemperatur herangezogen, jedoch in einem gleitenden Verfahren. Anschließend wird der 'threshold' aus dem Zusammenspiel von Temperatur und Mortalität ermittelt. Anhand dieser Schwellenwerte werden jeweils hitzebelastete Tage im Untersuchungszeitraum bestimmt. Zuletzt werden diese Zeiträume mit denen verglichen, in denen die Gefühlte Temperatur ohne Berücksichtigung von HeRATE den Bereich der Behaglichkeit überschreitet.

Tab. 3-02: Aufteilung der Brandenburger Landkreise auf vier Quadranten und Zuordnung einer Wetterstation. [Zusammenstellung: K. Gabriel]

NW	NE	SW	SE
Neuruppin	Angermünde	Wittenberg	Cottbus
Prignitz Ostprignitz-Ruppin Havelland Oberhavel	Barnim Uckermark Märkisch-Oderland	Brandenburg/Havel Potsdam Potsdam-Mittelmark Teltow-Fläming Elbe Elster	Dahme-Spree Oder-Spree Frankfurt/Oder Oberspreewald-Lausitz Cottbus Spree-Neiße

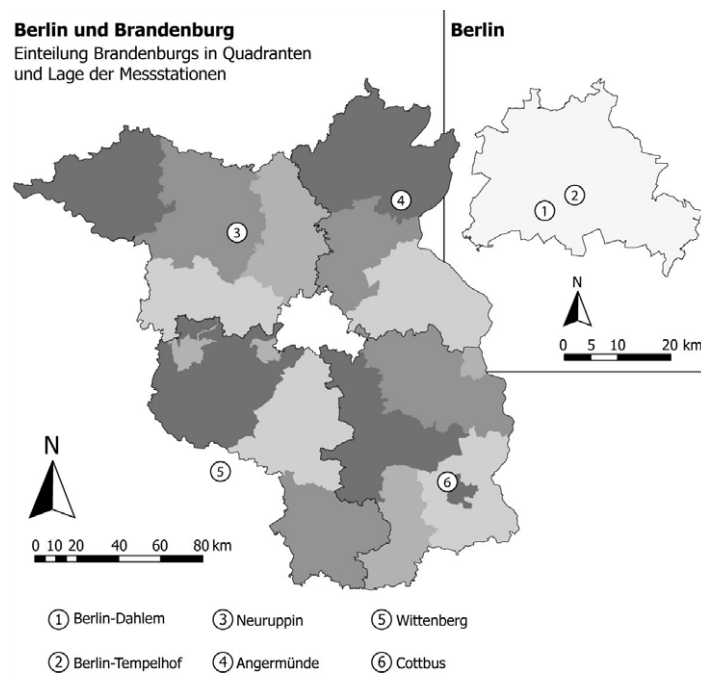


Abb. 3.01: Aufteilung der Brandenburger Landkreise auf vier Quadranten und Lage der dazugehörigen Wetterstationen.

[Darstellung: K. Gabriel]

Von den sechs untersuchten Stationen liegen zwei im Stadtgebiet Berlins, die anderen vier in Brandenburg bzw. im benachbarten Sachsen-Anhalt, zwischen 60 und 105 km Entfernung zum Stadtkern. Die vier Stationen des Umlandes stehen dabei repräsentativ für jeweils einen Quadranten Brandenburgs (vgl. Tabelle 3-02 und Abbildung 3.01).

3.3.1. Gleitendes 95er Perzentil der Temperatur

Um dem zuvor genannten Kritikpunkt der Mittelwertbildung bei langen Zeitreihen zu begegnen, wird in der vorliegenden Arbeit ein gleitendes Perzentil als Schwelle eingeführt. Dazu wird für das zu analysierende Jahr das 95er Perzentil der zehn vorangegangenen Jahre ermittelt. So liegt beispielsweise dem Jahr 1994 als Schwelle zur Hitzebelastung das 95er Perzentil der Dekade 1984 bis 1993 zugrunde. Obwohl die Wahl von zehn Jahren als Grundlage willkürlich ist, wird davon ausgegangen, dass dieser

Zeitraum eine von der jährlichen Variabilität unabhängige Basis darstellt und gleichzeitig der menschlichen Langzeitanpassung gerecht wird.

Die höchsten Grenzwerte des Tagesmaximums finden sich in Cottbus (vgl. Tabelle 3-03 sowie Tabellen A1-01 bis A1-06), gefolgt von Wittenberg und Berlin-Tempelhof. Neuruppin weist mit Werten zwischen 26,3°C und 27,6°C die niedrigsten Grenzen auf, der Unterschied zu Cottbus beträgt bis zu 1,9 K. Eindeutig ist ein Anstieg der Grenzwerte von Nord nach Süd auszumachen.

Tab. 3-03: Klimastationen in Berlin und Brandenburg – Schwellenwerte zur Hitzebelastung anhand des gleitenden 95er Perzentil für Tagesmaximum und Tagesminimum der Lufttemperatur sowie die Häufigkeit der Überschreitungen im Untersuchungszeitraum 1990 – 2006 (n = 6.209 Tage).

Station	P95(T _{max})	P95(T _{min})	n(P95(T _{max}))		n(P95(T _{min}))
Neuruppin	26,3 – 27,6 Δ 1,3 K	15,1 – 16,0 Δ 0,9 K	351 5,7 %	<	368 5,9 %
Angermünde	26,7 – 27,9 Δ 1,2 K	14,6 – 15,1 Δ 0,5 K	355 5,7 %	<	357 5,7 %
Berlin-Dahlem	27,0 – 28,7 Δ 1,7 K	15,1 – 16,0 Δ 0,9 K	379 6,1 %	>	352 5,7 %
Berlin-Tempelhof	27,1 – 28,8 Δ 1,7 K	16,1 – 16,7 Δ 0,6 K	367 5,9 %	>	344 5,5 %
Wittenberg	27,7 – 29,4 Δ 1,7 K	15,1 – 16,0 Δ 0,9 K	366 5,9 %	>	329 5,3 %
Cottbus	28,2 – 29,1 Δ 0,9 K	15,3 – 16,0 Δ 0,7 K	362 5,8 %	>	353 5,7 %

Beim Tagesminimum finden sich die mit Abstand höchsten Werte in Berlin-Tempelhof, die zwischen 16,1°C und 16,7°C liegen. Die Werte von Angermünde sind mit bis zu 1,6 K Unterschied die niedrigsten. Die beiden nördlichen Stationen sind zwar wieder diejenigen mit den niedrigsten Grenzwerten, im weiteren ist eine Zunahme von Nord nach Süd hier aber nicht eindeutig zu erkennen; besonders die Station Berlin-Tempelhof fällt aus dem Rahmen.

An allen sechs Stationen ist die Spanne der Grenzwertveränderungen bei den Tagesmaxima größer als bei den Tagesminima: Bei ersteren liegt sie zwischen 0,9 K (Cottbus) und 1,7 K (Berlin-Dahlem, Berlin-Tempelhof, Wittenberg), bei letzteren hingegen zwischen 0,5 K (Angermünde) und 0,9 K (Berlin-Dahlem, Neuruppin, Wittenberg). Berlin-Dahlem und Wittenberg weisen die stärksten Veränderungen auf, Cottbus und Angermünde die geringsten.

Bezüglich des Tagesmaximum-Wertes wurden zwischen 5,7 % (Neuruppin, n = 351) und 6,1 % (Berlin-Dahlem, n = 379) der Tage als wärmebelastet klassifiziert, bezüglich des Tagesminimum-Wertes zwischen 5,3 % (Wittenberg) und 5,9 % (Neuruppin). Damit

liegen alle Ergebnisse oberhalb 5 %, die laut Definition den Grenzwert aus den vorangegangenen 10 Jahren bestimmt haben.

Sowohl die Grenzwertveränderungen als auch die Angabe der hitzebelasteten Tage in Prozent legen nahe, dass innerhalb des Untersuchungszeitraumes eine Erwärmung stattgefunden hat, die insgesamt tagsüber ausgeprägter war als nachts.

In Abbildung 3.02 wird das Auftreten der ermittelten hitzebelasteten Tage exemplarisch für die Station Berlin-Dahlem dargestellt (vgl. Abbildungen A1.01 bis A1.06).

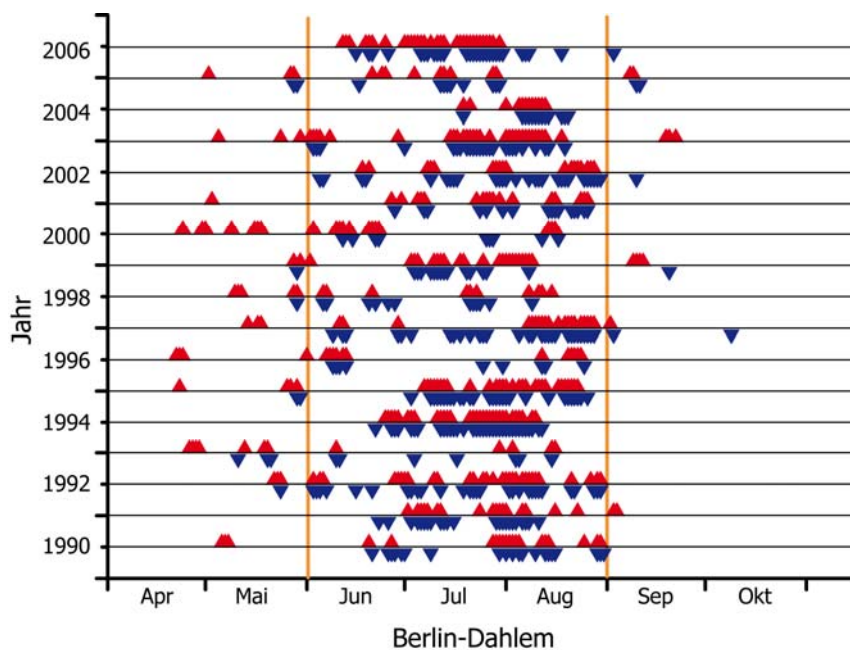


Abb. 3.02: Tage pro Jahr, an denen das 95er Perzentil der Maximum- (▲) bzw. der Minimumtemperatur (▼) an der Station Berlin-Dahlem überschritten wurde. Die vertikalen Linien geben den meteorologischen Sommer an.

[Daten: Deutscher Wetterdienst; Darstellung: K. Gabriel]

Im Untersuchungsgebiet wurden hitzebelastete Tage von April bis August, besonders in der zweiten Hälfte des untersuchten Zeitraumes auch bis in den September hinein verzeichnet. Hitzebelastete Nächte traten zwischen Mai und September auf, in Berlin-Dahlem und in Angermünde sogar vereinzelt bis in den Oktober hinein.

Als Hitzewelle wird hier definiert, dass an mindestens drei Tagen in Folge das Tagesmaximum den Wert des 95er Perzentils erreichen oder überschreiten muss; außerdem muss in jeder dazwischen liegenden Nacht der Wert des 95er Perzentils des Tagesminimums erreicht oder überschritten werden.

$$n_{\text{Tage}}: P95(T_{\text{max}}) \geq 3 \text{ und } n_{\text{Nächte}}: P95(T_{\text{min}}) \geq 2$$

Im Untersuchungszeitraum 1990 bis 2006 traten an den Stationen je bis zu 38 Hitzewellen auf, wobei pro Jahr zumeist maximal 5 auftraten; Cottbus bildet mit 6 Hitzewellen im Jahr 2006 jedoch den Spitzenreiter (vgl. Tabelle 3-04 sowie Tabellen A1-07 bis A1-12).

Die Hitzeperioden wiesen eine Dauer von minimal 3 Tagen (gemäß der Definition) bis maximal 17 Tagen auf, wobei die einzelnen Perioden oft zeitlich dicht aufeinander folgten. Die längsten zusammenhängenden Phasen ereigneten sich in den Jahren 1994 und 2006.

Anders als einzelne hitzebelastete Tage bzw. Nächte traten Hitzewellen ganz überwiegend in den Monaten des meteorologischen Sommers auf: Juni, Juli und August; allein in Cottbus gab es 2005 bereits Ende Mai (27.05.-29.05.) eine dreitägige Hitzeperiode.

Tab. 3-04: Klimastationen in Berlin und Brandenburg – Charakteristika der Stationen bezüglich des Auftretens von Hitzewellen (HW) nach der Perzentil-Methode im Untersuchungszeitraum 1990 – 2006 (n = 6.209 Tage).

Station	n_{HW}	max $n_{HW/a}$	max Dauer [d]	Auftreten	Jahre ohne HW
Neuruppin	38	5 (2003)	13 (1994)	Jun, Jul, Aug	93 98 05
Angermünde	31	5 (2006)	12 (1994)	Jun, Jul, Aug	93 98 04 05
Berlin-Dahlem	31	5 (1994)	12 (1994) 10 (2006)	Jun, Jul, Aug	93 98 01 05
Berlin-Tempelhof	37	5 (2003; 2006)	17 (1994) 11 (2006)	Jun, Jul, Aug	93 98 05
Wittenberg	38	5 (1994)	12 (1994) 11 (2006)	Jun, Jul, Aug	93 98 05
Cottbus	33	6 (2006)	12 (2006) 11 (1994)	Mai, Jun, Jul, Aug	93

Im Jahr 1993 traten an keiner der 6 Stationen thermische Bedingungen auf, die der oben genannten Definition einer Hitzewelle genügten, sondern lediglich einzelne Tage bzw. Nächte; abgesehen von der Station Cottbus war dies auch in den Jahren 1998 und 2005 nicht der Fall. In Berlin-Dahlem wurden die Bedingungen im Jahr 2001, in Angermünde im Jahr 2004 nicht erfüllt.

3.3.2. Regression von Temperatur und Mortalität (Hockey-Stick-Methode)

Wie oben beschrieben werden Temperatur- und Mortalitätsdaten des gesamten Untersuchungszeitraumes einander gegenübergestellt, anschließend wird in den Werten der Regressionsfunktion der kleinste Wert gesucht, da an diesem Punkt eine beginnende Hitzebelastung postuliert wird. Dem oben genannten Kritikpunkt des 'Mittelwertes' wird damit nicht begegnet.

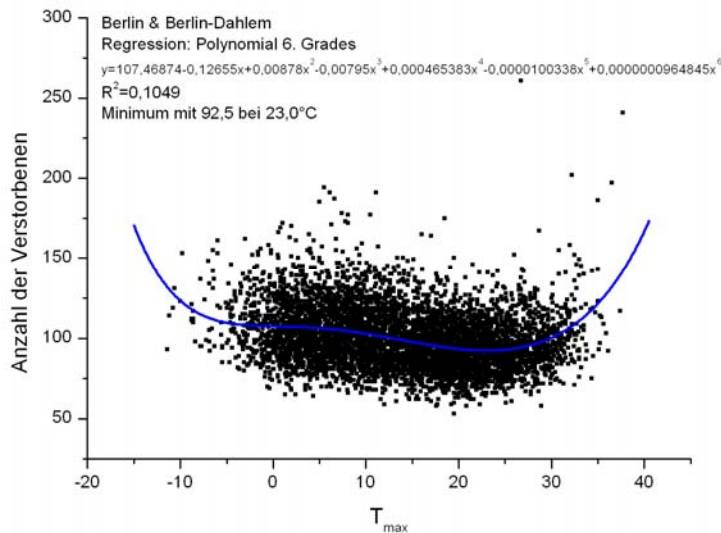


Abb. 3.03: Gegenüberstellung des Tagesmaximums der Lufttemperatur an der Station Berlin-Dahlem und der Tagessumme der Mortalität von Berlin im Zeitraum von 1990 bis 2006

[Daten: Deutscher Wetterdienst, Statistisches Landesamt Berlin; Darstellung: K. Gabriel]

Für die Tagesmaximum-Werte der Station Berlin-Dahlem in Verbindung mit der Berliner Mortalität sieht es demnach wie in Abbildung 3.03 aus, die Abbildungen der anderen 5 Stationen sowie für die Tagesminimumwerte finden sich im Anhang 1 (Abbildungen A1.07 bis A1.18). Insgesamt ergeben sich die in Tabelle 3-05 genannten Werte. Für Brandenburg kommen hier die eingangs genannten Quadranten zum Einsatz: Die Temperaturen der einzelnen Stationen werden den Mortalitätsdaten der zugeordneten Gebiete gegenübergestellt.

Der höchste 'threshold' des Tagesmaximums tritt mit 23,6°C in Wittenberg auf, gefolgt von den Berliner Stationen; Neuruppin (21,8 °C) und Angermünde (21,9 °C) weisen die niedrigsten threshold-Werte auf. Beim Tagesminimum tritt der mit Abstand höchste Wert (13,0°C) in Berlin-Tempelhof auf; auch hier zeigen Neuruppin und Angermünde mit 11,8 °C die niedrigsten Werte.

Tab. 3-05: Klimastationen in Berlin und Brandenburg – 'threshold' (TH) anhand der 'Hockey-Stick-Methode' für Tagesmaximum und Tagesminimum der Lufttemperatur sowie die Häufigkeit der Überschreitungen im Untersuchungszeitraum (n = 6.209 Tage).

Station	TH(T _{max})	TH(T _{min})	n(TH (T _{max}))	n(TH(T _{min}))
Neuruppin	21,8°C	11,8°C	1.205 19,4 %	< 1.288 20,7 %
Angermünde	21,9°C	11,8°C	1.201 19,3 %	> 1.113 17,9 %
Berlin-Dahlem	23,0°C	12,3°C	1.100 17,7 %	< 1.137 18,3 %
Berlin-Tempelhof	23,2°C	13,0°C	1.071 17,2 %	< 1.178 19,0 %
Wittenberg	23,6°C	12,2°C	1.085 17,5 %	< 1.153 18,5 %
Cottbus	22,8°C	11,9°C	1.310 21,1 %	> 1.270 20,5 %

Da mit dem 'threshold' der niedrigste Wert der Mortalität auftritt, beginnt die thermische Belastung erst mit Überschreitung dieses Wertes; ein Tag bzw. eine Nacht wird demnach erst dann als hitzebelastet klassifiziert, wenn Temperaturen auftreten, die höher als der 'threshold' sind.

Im Untersuchungsgebiet werden zwischen 17,2 % (Berlin-Tempelhof, $n = 1.071$) und 21,1 % (Cottbus, $n = 1.310$) der Tage aufgrund der Maximum-Temperatur als hitzebelastet klassifiziert. Im Bereich der Minimum-Temperaturen liegen die Werte zwischen 17,9 % (Angermünde, $n = 1.113$) und 20,7 % (Neuruppin, $n = 1.288$).

Mit dieser Methode der Grenzwertbestimmung traten eher mehr hitzebelastete Nächte als Tage auf; lediglich in Angermünde und Cottbus war das Verhältnis umgekehrt, und die Anzahl der belasteten Tage war höher als die der Nächte.

Das Auftreten einzelner hitzebelastete Tage und Nächte setzte zwischen April und Mai ein und dauerte an allen Stationen bis in den Oktober hinein an (vgl. Abbildung 3.04 sowie Abbildungen A1.19 bis A1.24). Die am spätesten aufgetretene wärmebelastete Nacht war an den Berliner und an den südlich Berlins gelegenen Stationen der 31. Oktober im Jahr 1994, in Neuruppin und Angermünde wurde im Jahr 1996 selbst am 03. November noch eine nach den genannten Kriterien als hitzebelastet klassifizierte Nacht registriert.

Als Hitzewelle wird hier erneut definiert, dass an mindestens drei Tagen in Folge das Tagesmaximum den threshold-Wert überschreiten muss; außerdem muss in jeder dazwischen liegenden Nacht der threshold-Wert des Tagesminimums überschritten werden.

$$n_{\text{Tage}}: \text{threshold}(T_{\text{max}}) \geq 3 \text{ und } n_{\text{Nächte}}: \text{threshold}(T_{\text{min}}) \geq 2$$

In den 17 untersuchten Jahren zwischen 1990 und 2006 traten bis zu 145 Hitzewellen an den einzelnen Stationen auf, wobei der höchste Wert an der Station Cottbus erreicht wurde (vgl. Tabelle 3-06 sowie Tabellen A1-13 bis A1-18). Auf Jahresbasis konnten maximal 10 bis 13 Perioden als hitzebelastet ermittelt werden, wobei der Extremwert an der Station Wittenberg auftrat.

Bestimmung von Hitze und Hitzewellen

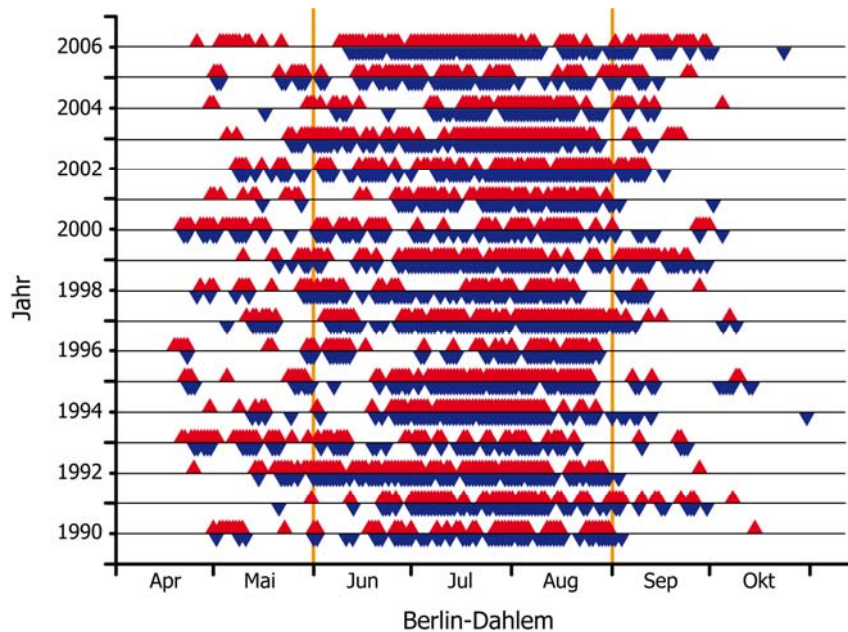


Abb. 3.04: Tage pro Jahr, an denen der 'threshold' der Maximum- (▲) bzw. der Minimumtemperatur (▼) an der Station Berlin-Dahlem überschritten wurde. Die vertikalen Linien geben den meteorologischen Sommer an.

[Daten: Deutscher Wetterdienst; Darstellung: K. Gabriel]

Tab. 3-06: Klimastationen in Berlin und Brandenburg – Charakteristika der Stationen bezüglich des Auftretens von Hitzewellen (HW) nach der Regressions-Methode im Untersuchungszeitraum 1990 – 2006 (n = 6.209 Tage).

Station	n_{HW}	max $n_{HW/a}$	max Dauer [d]	Auftreten	Jahre ohne HW
Neuruppin	130	11 (2002)	49 (1994) 33 (1997, 2003)	Apr, Mai, Jun, Jul, Aug, Sep	keine
Angermünde	119	10 (1992)	20 (1994) 19 (2006)	Apr, Mai, Jun, Jul, Aug, Sep	keine
Berlin-Dahlem	122	10 ('92, '95, '02, '05)	33 (2003) 27 (1997)	Apr, Mai, Jun, Jul, Aug, Sep	keine
Berlin-Tempelhof	122	10 ('92, 98)	34 (2003) 33 (1994)	Apr, Mai, Jun, Jul, Aug, Sep	keine
Wittenberg	125	13 (1992)	32 (1994) 31 (2003)	Apr, Mai, Jun, Jul, Aug, Sep	keine
Cottbus	145	12 (2002)	33 (2003) 24 (1997)	Apr, Mai, Jun, Jul, Aug, Sep	keine

Die Häufigkeit sagt jedoch nichts hinsichtlich der thermischen Gesamtbelastung im Jahr aus, da auch immer wieder wenige, dafür lang anhaltende Perioden beobachtet werden können. So wurde für Neuruppin im Jahr 1994 lediglich eine einzige Hitzeperiode ermittelt, die jedoch mit einer Dauer von 49 aufeinanderfolgenden Tagen den absoluten Höchstwert im Untersuchungsgebiet und –zeitraum darstellt. Generell dauerten die einzelnen Hitzeperioden zwischen 3 Tagen (gemäß Definition) und bis zu 34 Tagen in

Folge. Die längsten zusammenhängenden Phasen ereigneten sich stationsübergreifend in den Jahren 1994, 1997, 2003 und 2006.

Bei der Bewertung der Daten mit Hilfe der Hockey-Stick-Methode traten Hitzewellen im Frühjahr bereits ab April auf und konnten im Herbst bis in den September andauern. Im Untersuchungszeitraum trat an allen Stationen pro Jahr mindestens eine Hitzewelle nach oben genannter Definition auf.

3.3.3. Gefühlte Temperatur

Anders als den bisherigen beiden Methoden liegen der Untersuchung anhand der Gefühlten Temperatur keine Mittelwerte und Extreme zugrunde, sondern Werte, die im Abstand von drei Stunden gemessen wurden. Um dennoch zu den beiden vorangegangenen Methoden vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, besteht demnach die Möglichkeit, die Werte zu den Messzeiten erwarteter Extreme zu verwenden; diese treten um 15:00 Uhr sowie um 03:00 Uhr auf. Das birgt jedoch besonders tagsüber das Risiko, dass zum Messzeitpunkt untypische Verhältnisse für den entsprechenden Tag geherrscht haben und damit die aufgetretene thermische Belastung über- bzw. unterschätzt wird. Dieser Fehler kann verringert werden, indem ein bzw. zwei weitere Stundenwerten bei der Analyse berücksichtigt werden. So werden für die Tagesmaximum-Grenze zusätzlich zum 15:00-Uhr-Wert die Werte von 09:00 Uhr und 12:00 Uhr herangezogen, zur Bestimmung der nächtlichen Belastung zum 03:00-Uhr-Wert noch der von 00:00 Uhr. Die Berücksichtigung von zwei oder drei Stundenwerten eines Tages gibt den Vorteil, dass Datenlücken in den einzelnen Zeitreihen eher geschlossen werden können.

Tab. 3-07: Thermische Wahrnehmung und physiologische Belastung der Gefühlten Temperatur mit Angabe der Temperaturspanne. [STAIGER & BUCHER & JENDRITZKY 1997]

Gefühlte Temperatur [°C]	Thermische Wahrnehmung	Physiologische Belastungsstufe
+38 und drüber	sehr heiß	extreme Wärmebelastung
+32 bis unter +38	heiß	starke Wärmebelastung
+25 bis unter +32	warm	mäßige Wärmebelastung
+20 bis unter +25	leicht warm	schwache Wärmebelastung
0 bis unter +20	behaglich	keine Belastung
-13 bis unter 0	leicht kühl	schwacher Kältestress
-26 bis unter -13	kühl	mäßiger Kältestress
-39 bis unter -26	kalt	starker Kältestress
unter -39	sehr kalt	extremer Kältestress

Für die Gefühlte Temperatur existieren Stufen thermischer Wahrnehmung, die von 'sehr kalt' (extremer Kältestress) bis 'sehr heiß' (extreme Wärmebelastung) reichen; bei Behaglichkeit tritt keine physiologische Belastung auf (vgl. Tabelle 3-07).

Hitzebelastung tritt ab der thermischen Wahrnehmung 'heiß' auf; damit ein Tag als 'hitzebelastet' klassifiziert wird, muss demnach ein Stundenwert von 09:00 Uhr, 12:00 Uhr oder 15:00 Uhr der Gefühlten Temperatur 32 °C erreichen oder überschreiten. Beim Auftreten von Werten über 20°C Gefühlter Temperatur ist Behaglichkeit nicht mehr gegeben, so dass dieser Wert als Grenze für die nächtliche Belastung festgelegt wird: Wenn zu den Zeitpunkten 00:00 Uhr oder 03:00 Uhr dieser Wert nicht unterschritten wird, gilt die Nacht als 'belastet'. Die genannten Stundenwerte wurden gewählt, weil sie sommers wie winters eindeutige Sonnenstandsverhältnisse aufweisen; zu den Zeitpunkten 06:00 Uhr, 18:00 Uhr und 21:00 Uhr hingegen steht die Sonne im Sommer über, im Winter jedoch unter dem Horizont.

Die Festlegung der oberen Grenze läuft parallel zu dem Grenzwert, den der Deutsche Wetterdienst in seinem Hitzewarnsystem für die erste Warnstufe anwendet [vgl. BECKER 2005]; der Grenzwert für die nächtliche Belastung hingegen ist im Warnsystem des Deutschen Wetterdienstes nicht vorgesehen.

Tab. 3-08: Klimastationen in Berlin und Brandenburg – Grenzwerte für Tages- (09/12/15) und Nachtwerte (00/03) der Gefühlten Temperatur (GT) sowie die Häufigkeit der Überschreitungen im Untersuchungszeitraum (n = 6.209 Tage).

Station	Grenzwert GT (09/12/15)	Grenzwert GT (00/03)	n(Grenzwert GT (09/12/15))	n(Grenzwert GT (00/03))
Neuruppin	32,0°C	20,0°C	302 4,8 %	8 0,13 %
Angermünde	32,0°C	20,0°C	183 2,9 %	2 0,03 %
Berlin-Dahlem	32,0°C	20,0°C	263 4,2 %	1 0,02 %
Berlin-Tempelhof	32,0°C	20,0°C	219 3,5 %	9 0,14 %
Wittenberg	32,0°C	20,0°C	307* 5,5 %	7* 0,13 %
<i>Schätzung für 6.209 Tage</i>			<i>340</i> <i>5,5 %</i>	<i>13</i> <i>0,21 %</i>
Cottbus	32,0°C	20,0°C	326 5,3 %	10 0,16 %

* ohne den Zeitraum 10/2005-12/2006, d.h. Untersuchungszeitraum n = 5.571 Tage

Im Gegensatz zu den zwei vorangehend beschriebenen Methoden der Hitzebestimmung sind die Grenzwerte bei der Gefühlten Temperatur sowohl zeitlich als auch räumlich statisch. Dadurch sind thermische Vergleiche der Stationen untereinander zwar nicht möglich, jedoch sind die vergleichenden Aussagen hinsichtlich der aufgetretenen Anzahl belasteter Tage dadurch wiederum präziser.

Durch größere Datenlücken an der Station Wittenberg muss die Anzahl der Grenzwertüberschreitungen für den gesamten Untersuchungszeitraum mithilfe der Daten der anderen Stationen abgeschätzt werden. Insgesamt liegt der Anteil hitzebelasteter Tage zwischen 2,9 % in Berlin-Dahlem und geschätzten 5,5 % in Wittenberg; der Anteil hitzebelasteter Nächte liegt im Promille-Bereich (zwischen 0,02 % in Berlin-Dahlem und 0,16 % in Cottbus).

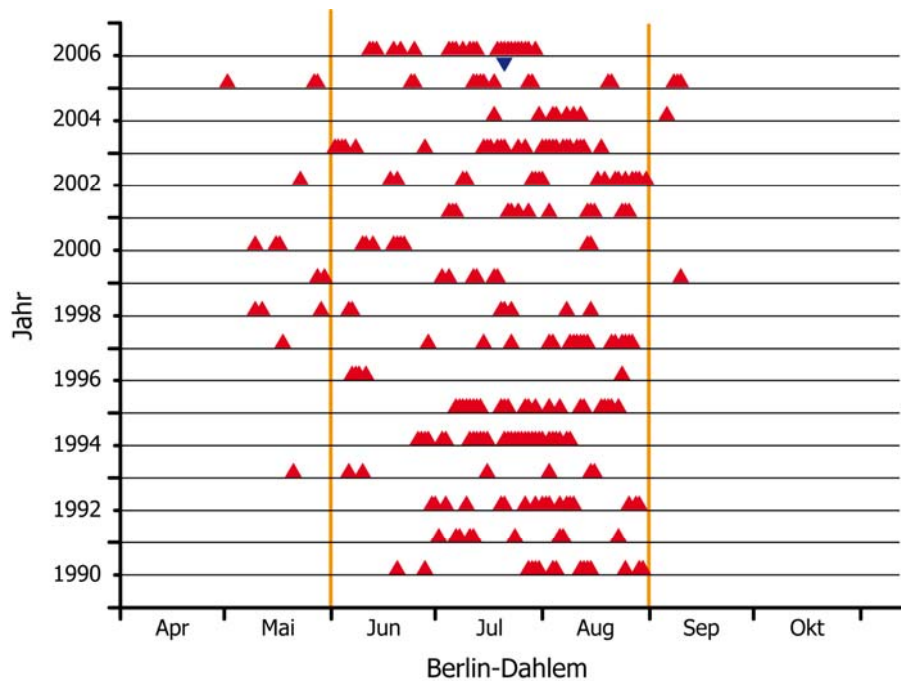


Abb. 3.05: Tage pro Jahr, an denen an der Station Berlin-Dahlem die Gefühlte Temperatur zu den Messzeiten 09:00, 12:00 oder 15:00 den Wert von 32°C (▲) bzw. zu den Messzeiten 00:00 oder 03:00 den Wert 20°C (▼) überschreitet. Die vertikalen Linien geben den meteorologischen Sommer an.

[Daten: Deutscher Wetterdienst; Darstellung: K. Gabriel]

Tage, an denen die Gefühlte Temperatur 32°C erreichte oder überstieg, traten im Untersuchungszeitraum von Mai bis Anfang Oktober auf (vgl. Abbildung 3.05 sowie Abbildungen A1.25 bis A1.30 und Tabellen A1-19 bis A1-24), wobei diese Spanne jedoch nur selten durchgehend belastet war: zumeist beschränken sich die Tage auf zwei bis drei Monate, so dass im Juli sowohl die ersten belasteten Tage des Jahres auftreten können, aber auch die letzten. Die wenigen Überschreitungen der nächtlichen Grenze fanden an allen Stationen ausschließlich in den Monaten des meteorologischen Sommers statt.

Aufgrund der äußerst geringen Anzahl belasteter Nächte wird für die Gefühlte Temperatur eine Hitzewelle ohne Berücksichtigung der Nachtwerte definiert. Demnach sind auch hier für eine Hitzewelle wieder drei aufeinanderfolgende Tage mit Hitzebelastung notwendig, jedoch ohne dass auch die zwei eingeschlossenen Nächte als hitzebelastet klassifiziert sein müssen.

$$n_{\text{Tage}}: (GT_{(09:00/12:00/15:00)} \geq 32^{\circ}\text{C}) \geq 3$$

Nach dieser Definition traten an den Stationen im Untersuchungszeitraum bis zu 42 Hitzewellen auf, wobei dieses Maximum in Cottbus erreicht wurde; mit lediglich 16 Hitzewellen in 17 Jahren bildet Angermünde das Schlusslicht (vgl. Tabelle 3-09 sowie Tabellen A1-19 bis A1-24). Die höchste Anzahl pro Jahr lag bei fünf (Neuruppin, Wittenberg, Cottbus) bzw. sechs (Berlin-Dahlem) Hitzewellen, die überwiegend nach der Jahrtausendwende auftraten (2001, 2003, 2005, 2006 – aber auch 1994).

Die Hitzewellen hatten eine Länge von drei (gemäß Definition) bis 15 Tagen. Für das Auftreten der längsten zusammenhängenden Perioden kann an allen sechs Stationen das Jahr 1994 genannt werden; während in diesem Jahr in Wittenberg 15 aufeinanderfolgende Tage gezählt wurden, waren es in Angermünde immerhin neun. Weiterhin fallen die Jahre 2003 (elf Tage in Wittenberg) und 2006 (zehn Tage in Berlin-Dahlem) auf.

Tab. 3-09: Klimastationen in Berlin und Brandenburg – Charakteristika der Stationen bezüglich des Auftretens von Hitzewellen (HW) nach der Gefühlten Temperatur im Untersuchungszeitraum 1990 – 2006 (n = 6.209 Tage).

Station	n _{HW}	max n _{HW/a}	max Dauer [d]	Auftreten	Jahre ohne HW
Neuruppin	37	5 (2001; 2006)	12 (1994)	Jun, Jul, Aug, Sep	93, 98
Angermünde	16	2 (91, 92, 94, 02, 03, 06)	9 (1994)	Jun, Jul, Aug	90, 93, 97, 98, 99, 04, 05
Berlin-Dahlem	32	6 (2003)	12 (1994) 10 (2006)	Jun, Jul, Aug, Sep	91, 93, 98, 99, 04
Berlin-Tempelhof	27	3 (98, 01, 02, 03, 06)	11 (1994)	Jun, Jul, Aug, Sep	93, 99; 04
Wittenberg*	38	5 (2005)	15 (1994) 11 (2003)	Mai, Jun, Jul, Aug, Sep	98
Cottbus	42	5 (1994)	11 (1994)	Mai, Jun, Jul, Aug, Sep	keine

* ohne den Zeitraum 10/2005-12/2006, d.h. Untersuchungszeitraum n = 5.571 Tage

Hitzewellen traten überwiegend in den Sommermonaten Juni, Juli und August auf; während nur in Angermünde nicht auch im September noch vereinzelt hitzebelastete Perioden auftraten, gab es lediglich an den zwei südlichen Stationen Wittenberg und Cottbus im Jahr 2005 bereits Ende Mai die erste Hitzewelle (vgl. Tabelle 3-09 sowie Tabellen A1-19 bis A1-24).

Berlin-Dahlem und insbesondere Angermünde zeigten fünf bzw. sogar sieben Jahre, in denen zwar einzelne Tage, aber nie mehr als zwei Tage in Folge hitzebelastet waren, wohingegen in Cottbus in jedem Jahr wenigstens eine mindestens dreitägige Hitzeperiode auftrat. In den Jahren 1993 und 1998 traten an jeweils vier der sechs Stationen keine Hitzewellen auf, im Jahr 1999 an drei Stationen.

3.3.4. Vergleich und Diskussion der Ergebnisse

Die drei vorangehend angewendeten Methoden der Hitzebestimmung finden in der Literatur verbreitet Anwendung, haben aber durchaus verschiedenartige Ansätze und führen dadurch zu unterschiedlichen Ergebnissen. Während der P95- und der Hockey-Stick-Methode mit Maximum- und Minimum-Werten der Lufttemperatur dieselben thermischen Daten zugrunde liegen, wird beim Index mit dem thermischen Konstrukt der Gefühlten Temperatur gearbeitet. Weiter werden Grenzen verwendet, die zum einen inter-stationär (gleitendes 95er Perzentil sowie Regression), zum anderen inter-annuell unterschiedlich sind (gleitendes 95er Perzentil), während die jeweils nicht genannten Methoden diese Variationen nicht aufweisen. Dies bietet zwar die in den jeweiligen Methodenbeschreibungen genannten Vorteile der stationären oder jährlichen Vergleiche, setzt aber die Möglichkeit, die Methoden selbst untereinander zu vergleichen, weiter herab.

Dennoch bringt die Ermittlung des Grenzwertes über das gleitende 95er Perzentil verschiedene Vorteile mit sich: Mit relativ einfachen Mitteln ist eine thermische Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Stationen herstellbar. Durch die Verwendung der vorangegangenen zehn Jahre wird nicht nur dem Problem der Mittelwertbildung begegnet, sondern die zugrundeliegende Datenbasis auch standardisiert. Da der ermittelte Wert durchaus vom Umfang des Datensatzes abhängt, wird damit ein weiterer Schritt zur Vergleichbarkeit geschaffen. Mit dieser Methode ist es auch möglich, im Vorfeld das 95er Perzentil für das kommende Jahr zu ermitteln und so die kritische Grenze zur Anwendung in Warnsystemen festzulegen.

Auch mithilfe der Hockey-Stick-Methode ist mit relativ einfachen Mitteln eine Vergleichbarkeit zwischen Städten und Regionen zu realisieren. Trotzdem müssen die Werte kritisch hinterfragt werden: Wie am Beispiel von Berlin gezeigt werden konnte, ergeben sich bereits unterschiedliche threshold-Werte, wenn ein- und derselbe Mortalitätsdatensatz mit zwei unterschiedlichen Klimastationen in Verbindung gebracht wird (Differenz T_{\max} : 0,2 K; Differenz T_{\min} : 0,7 K) – obwohl die Sensitivität ein und derselben Bevölkerung doch die gleiche sein sollte! Um dem Kritikpunkt 'Mittelwert' zu begegnen, besteht die Möglichkeit, für jede Station eine jährliche Regression zu erstellen. Ein jährlich individueller 'threshold' würde die Beobachtung ermöglichen, inwieweit sich die Sensitivität von Jahr zu Jahr geändert hat. Da Temperatur und Mortalität aber taggleich sein müssen, ist jedenfalls kein Wert im Voraus zu ermitteln, d.h. hier taugt die jährlich berechnende Vorgehensweise nicht für Vorhersagen und damit nicht für Warnsysteme.

Die Verwendung der Gefühlten Temperatur erfordert – im Gegensatz zu den vorher aufgeführten Methoden – ein anderes Vorgehen: Hier müssen aufgrund der starren Grenzwerte einzelne Stationen anhand der Anzahl hitzebelasteter Tage verglichen werden. Die Wahl der Belastungsgrenze bei +32°C Gefühlter Temperatur stimmt mit der

ersten Warnstufe des Deutschen Wetterdienstes überein [BECKER 2005], die Wahl des nächtlichen Schwellenwertes erscheint auf den ersten Blick vielleicht etwas hoch angesetzt – das Ergebnis stimmt jedoch wieder mit der Methode des Deutschen Wetterdienstes überein, der ebenfalls keinen nächtlichen Grenzwert berücksichtigt.

Die P95-Werte fallen im Allgemeinen um etwa 5 K höher als die threshold-Werte der Regression aus, was mit Ergebnissen in der Literatur konform ist [vgl. GOSLING et al. 2007]; in Dahlem sind es im Tagesmaximum etwa 4,5 K. Statt 5,7 % (Neuruppin, n = 351) bis 6,1 % (Berlin-Dahlem, n = 379) der Tage im Untersuchungszeitraum werden durch diesen Unterschied 17,2 % (Berlin-Tempelhof, n = 1.071) bis 21,1 % (Cottbus, n = 1.310) der Tage als wärmebelastet klassifiziert – also etwa die vierfache Anzahl (vgl. Tabelle 3-10).

Tab. 3-10: Klimastationen in Berlin und Brandenburg – thermische Grenzen bei 95er Perzentil, Hockey-Stick-Methode und der Gefühlten Temperatur für Tages- und Nachtwerte.

Station	P95(T _{max})	P95(T _{min})	TH(T _{max})	TH(T _{min})	GT _(09/12/15)	GT _(00/03)
Neuruppin	26,3 – 27,6 Δ 1,3 K	15,1 – 16,0 Δ 0,9 K	21,8°C	11,8°C	32,0°C	20,0°C
Angermünde	26,7 – 27,9 Δ 1,2 K	14,6 – 15,1 Δ 0,5 K	21,9°C	11,8°C	32,0°C	20,0°C
Berlin-Dahlem	27,0 – 28,7 Δ 1,7 K	15,1 – 16,0 Δ 0,9 K	23,0°C	12,3°C	32,0°C	20,0°C
Berlin-Tempelhof	27,1 – 28,8 Δ 1,7 K	16,1 – 16,7 Δ 0,6 K	23,2°C	13,0°C	32,0°C	20,0°C
Wittenberg	27,7 – 29,4 Δ 1,7 K	15,1 – 16,0 Δ 0,9 K	23,6°C	12,2°C	32,0°C	20,0°C
Cottbus	28,2 – 29,1 Δ 0,9 K	15,3 – 16,0 Δ 0,7 K	22,8°C	11,9°C	32,0°C	20,0°C

Auch wenn der Grenzwert der Gefühlten Temperatur nicht eins zu eins mit den zwei anderen Schwellenwerten zu vergleichen ist, so ist an der Anzahl belasteter Tage doch zu erkennen, dass er den höchsten bzw. schärfsten der drei Grenzwerte darstellt. Lediglich zwischen 2,9 % (Angermünde, n = 183) und 5,5 % (Wittenberg, n = 340) der Tage wurden im Untersuchungszeitraum auf diese Weise als hitzebelastet klassifiziert.

Bei den thermischen Grenzwerten des Tagesmaximums lässt sich eine Zunahme von Nord nach Süd erkennen, wobei zusätzlich die jeweils westlicher gelegene Station einen etwas niedrigeren Grenzwert als die auf gleicher Breite östlicher gelegene Station aufweist. Dieses Muster wird lediglich vom Cottbusser 'threshold' durchbrochen, der sich zwischen den Werten der zwei nördlichen und der zwei Berliner Stationen einordnen lässt. Es ergibt sich die Frage, ob dafür die thermischen Verhältnisse der Station oder die Sensitivität der zugrunde liegenden Bevölkerung für diese Abweichung verantwortlich ist.

Für die thermischen Grenzen des Tagesminimums lässt sich ein ähnlich deutliches Muster nicht erkennen; es kann lediglich festgestellt werden, dass die Station Berlin-Tempelhof nach beiden Methoden den höchsten Schwellenwert aufweist, Angermünde jeweils einen sehr niedrigen.

So ist also für die Tageswerte ein N-S- und ein weniger deutliches W-E-Gefälle zu erkennen, eine eindeutige Aussage zu stärkerer Belastung der Stadt-Stationen gegenüber den Umland-Stationen kann mithilfe der Nachtwerte dagegen nicht gemacht werden.

3.4. Auswahl hitzebelasteter Perioden

Um einzelne hitzebelastete Perioden für den Raum Berlin-Brandenburg hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Mortalität untereinander vergleichen zu können, werden sie in Bezug auf ihre Dauer standardisiert. Hierfür wird ein Zeitraum von drei Wochen gewählt: Wie im vorangehenden Kapitel gezeigt wurde, kann eine hitzebelastete Witterung über diese Zeit anhalten; bei einer kürzeren Spanne würden relevante Tage herausfallen, hingegen bei der Wahl einer noch längeren Spanne die Zahl der unbelasteten Tage wiederum zu groß werden, wodurch das entsprechende Ergebnis verwässert werden würde. Ein weiterer Vorteil bei der Wahl eines Zeitraumes von drei Wochen besteht darin, dass eine auf diese Studie aufbauende, altersdifferenzierte Untersuchung der Mortalität bis auf kommunale Ebene auch mit Einhaltung des Datenschutzes ermöglicht werden kann.

Mithilfe der vorgestellten Methoden der Hitzebestimmung erfolgt nun eine Analyse der einzelnen Jahre nach hitzebelasteten 3-wöchigen Perioden: Diese Perioden sollen nach allen drei Methoden für den gesamten Untersuchungsraum (d.h. an allen 6 Stationen) eine maximale Anzahl an Tagen mit Hitzebelastung aufweisen. Dazu wurden die als belastet klassifizierten Daten mit '1' codiert (= Belastungspunkt (BP)) und tagesweise aufsummiert (= Tages-Belastungspunkte (TBP)). Für das Tagesmaximum ebenso wie für das Tagesminimum kann sich daraus maximal ein Wert von '18' ergeben:

$$6 \text{ Stationen} * 3 \text{ Methoden} = 18 \text{ TBP}$$

Da ein Zeitraum von drei Wochen von Interesse ist, werden jeweils die Tages-Belastungspunkte von 21 Tagen aufsummiert. Auf diese Weise kann ein maximaler Wert von 378 Perioden-Belastungspunkten (PBP) für das Tagesmaximum wie für das Tagesminimum auftreten:

$$18 \text{ TBP} * 21 \text{ Tage} = 378 \text{ PBP}$$

Um bei der Wahl der Perioden sowohl die Belastung während des Tages als auch während der Nacht einzubeziehen, wurden anschließend die Perioden-Belastungspunkte der Tagesmaximum- und der Tagesminimum-Werte addiert (vgl. Abbildung 3.06). Insgesamt kann sich hierbei ein Gesamtwert von '756' Perioden-Belastungspunkten (gPBP) ergeben.

$$378 \text{ PBP}_{\max} + 378 \text{ PBP}_{\min} = 756 \text{ gPBP}$$

Zur Ermittlung der tatsächlich aufgetretenen Perioden-Belastungspunkte wurde über den gesamten Untersuchungszeitraum die gleitende Summe der Tages-Belastungspunkte von jeweils drei Wochen gebildet. Bei der Betrachtung der dreiwöchigen gPBP-Summen in Abbildung 3.06 sticht das Jahr 1994 wieder als absolutes Maximum hervor, gefolgt von den Spitzen der Jahre 2006, 1997 und 2003; hier liegen die Spitzenwerte um den Wert '500'. Das Auftreten kühler Sommer ist in den Jahren 1993, 1996, 1998 und 2000 zu erkennen, während denen in keiner der dreiwöchigen Perioden der Wert '300' überschritten wird.

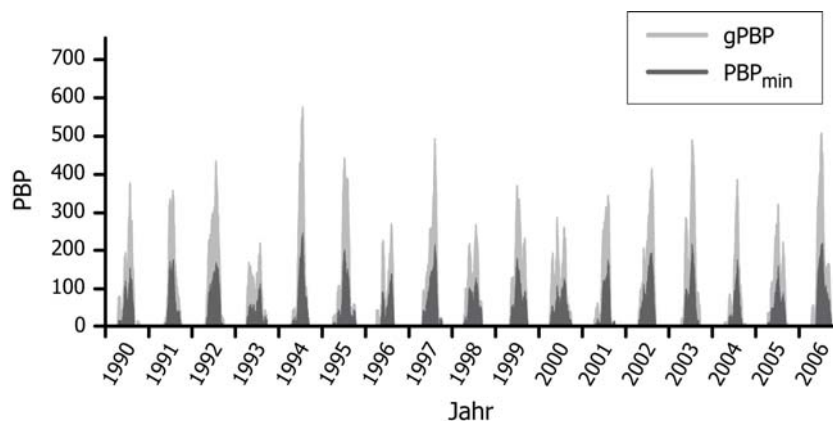


Abb. 3.06: Gesamtsumme der Perioden-Belastungspunkte (PBP) aus den nach drei Methoden als hitzebelastet klassifizierten Tagen an den Stationen Neuruppin, Angermünde, Berlin-Dahlem, Berlin-Tempelhof, Wittenberg (ohne 2006) und Cottbus.

[Daten und Darstellung: K. Gabriel]

Bei etwa der Hälfte der dreiwöchigen Perioden, nämlich derjenigen im kühlen Halbjahr, liegt die Gesamtsumme der Perioden-Belastungspunkte bei Null. Die warme Jahreshälfte weist in ihrer Gesamtsumme zwischen 1 und 576 Perioden-Belastungspunkte auf (vgl. Abbildung 3.07). Die Häufigkeit des Auftretens eines einzelnen Perioden-Belastungspunktes (1 gPBP) liegt bei 93.

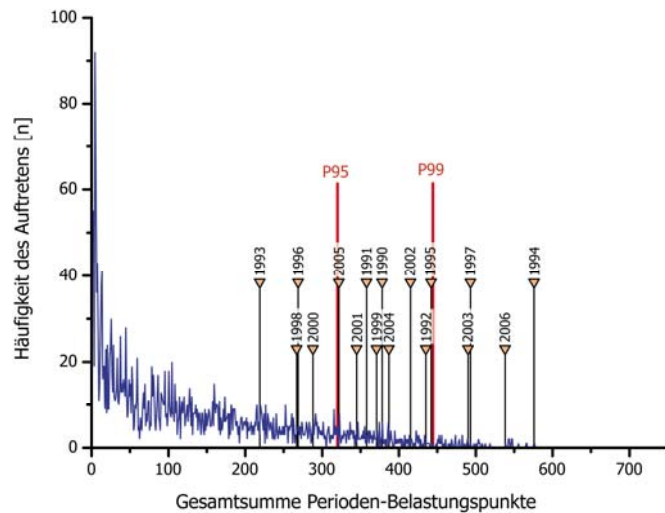


Abb. 3.07: Häufigkeitsverteilung der Gesamtsumme der Perioden-Belastungspunkte (gPBP) mit Angabe der Lage der jährlichen Punkt-Höchstzahl sowie des 95er und des 99er Perzentils.

[Daten und Darstellung: K. Gabriel]

Die Verteilungsfunktion nähert sich asymptotisch der Y-Achse: Höhere Gesamtsummen an Perioden-Belastungspunkten treten immer seltener auf, bis die Verteilungsfunktion schließlich mit den Werten des Jahres 1994 bei einem einmaligen Ereignis von 576 gPBP abbricht.

Mithilfe der gleitenden Summen wurde von jedem der 17 Jahre im Untersuchungszeitraum diejenige 3-wöchige Periode ermittelt, die die höchste Gesamtsumme an Perioden-Belastungspunkten aufweist. Diese Perioden werden in Tabelle 3-11 genannt und ihre Position in Abbildung 3.07 graphisch gekennzeichnet.

Bestimmung von Hitze und Hitzewellen

Tab. 3-11: Ausgewählte Zeiträume über 21 Tage mit Angabe der Gesamtsumme von Perioden-Belastungspunkten (gPBP) (max n = 378 bzw. 756; für 2006: max n = 357 bzw. 714).

Jahr	Zeitraum	PBP (Anteil in %)		
		max	min	gesamt
1990	27.07.-16.08.	224 (59,3)	154 (40,7)	378 (50,0)
1991	23.07.-12.08.	181 (47,9)	177 (46,8)	358 (47,4)
1992	21.07.-10.08.	267 (70,6)	168 (44,4)	435 (57,5)
1993	28.07.-17.08.	105 (27,8)	114 (30,2)	219 (29,0)
1994	22.07.-11.08.	329 (87,0)	247 (65,3)	576 (76,2)
1995	08.07.-28.07.	241 (63,8)	201 (53,2)	442 (58,5)
1996	06.08.-26.08.	128 (33,9)	141 (37,3)	269 (35,6)
1997	08.08.-28.08.	277 (73,3)	216 (57,1)	493 (65,2)
1998	20.07.-09.08.	139 (36,8)	128 (33,9)	267 (35,3)
1999	01.07.-21.07.	192 (50,8)	179 (47,4)	371 (49,1)
2000	02.06.-22.06.	178 (47,1)	110 (29,1)	288 (38,1)
2001	07.08.-27.08.	169 (44,7)	176 (46,6)	345 (45,6)
2002	11.08.-31.08.	220 (58,2)	195 (51,6)	415 (54,9)
2003	16.07.-05.08.	273 (72,2)	217 (57,4)	490 (64,8)
2004	31.07.-20.08.	212 (56,1)	175 (46,3)	387 (51,2)
2005	10.07.-30.07.	163 (43,1)	159 (42,1)	322 (42,6)
2006	10.07.-30.07.	291 (81,5)	217 (60,8)	508 (71,1)
	für max n = 378 bzw. 756 geschätzt:	308 (81,5)	230 (60,8)	538 (71,1)

Die mit Abstand höchste Punktzahl tritt zwischen dem 22. Juli und dem 11. August 1994 auf: Mit 576 Perioden-Belastungspunkten werden 76,2 % der möglichen Punkte erreicht. Im Jahr 2006 tritt mit 508 gPBP die zweithöchste Punktzahl auf; da für die Station Wittenberg Daten der Gefühlten Temperatur fehlen, liegen der Berechnung des Anteils lediglich 357 bzw. 714 mögliche Punkte zugrunde. Um einen mit den restlichen Jahren vergleichbaren Wert zu schaffen, werden die berechneten Anteilswerte auf die sonst zugrunde liegenden 378 bzw. 756 möglichen Punkte angewendet; dadurch nimmt der Wert der Gesamtsumme der Periodenbelastungspunkte um 30 zu und liegt geschätzt bei 538 gPBP. Da sich die Reihung innerhalb der Jahre durch diese Abschätzung nicht ändert, der Wert aber die thermische Situation der Periode von 2006 besser beschreibt, wird im Weiteren diese geschätzte Gesamtsumme von Perioden-Belastungspunkten verwendet. In einer nah beieinander liegenden Zweiergruppe folgen die Punktzahlen der Jahre 1997 (493 = 65,2 %) und 2003 (490 = 64,8 %). Diese vier bisher genannten Jahre fallen in das 99er Perzentil der Verteilungsfunktion; allein die höchsten 13 Werte treten im Jahr 1994 auf. Erst mit größerem Abstand folgt ein Feld, das mit einer Gesamtsumme von 442 Perioden-Belastungspunkten (58,5 %) im Jahr 1995 angeführt wird. Die kühlsste 'wärmste Periode' eines Jahres tritt 1993 auf: Zwischen dem 28. Juli und dem 17. August werden mit 219 Perioden-Belastungspunkten lediglich 29 % des möglichen Wertes erreicht.

Aufgrund ihrer Lage im 99er Perzentil, aber auch, weil sie in den verschiedenen Analysemethoden immer wieder durch thermische Extreme aufgefallen sind, werden die ausgewählten dreiwöchigen Perioden der Jahre 1994 und 1997, 2003 und 2006 im folgenden hinsichtlich der thermischen Bedingungen und der Mortalität detaillierter betrachtet. Als Vergleich wird die besonders kühle Periode von 1993 herangezogen.

4. Analyse ausgewählter Perioden

hinsichtlich Klima und Mortalität

Die vier Hitzeperioden können kurz folgendermaßen charakterisiert werden:

- die aus den Daten klar hervorstechende Episode im Jahr 1994,
- der erst aufgrund der Datenanalyse auffällig gewordene Zeitraum im Jahr 1997,
- das europaweit für Schlagzeilen sorgende Ereignis von 2003 sowie
- der Fußball-WM-Sommer von 2006.

Als Vergleich wird die Periode des besonders kühlen Sommers von 1993 herangezogen.

Tab. 4-01: Ausgewählte Zeiträume über 21 Tage, sortiert nach der Gesamtsumme der Perioden-Belastungspunkte.

Jahr	Zeitraum	gPBP (%)
1994	22.07.-11.08.	576 (76,2)
2006	10.07.-30.07.	538 (71,1)
1997	08.08.-28.08.	493 (65,2)
2003	16.07.-05.08.	490 (64,8)
1993	28.07.-17.08.	219 (29,0)

Diese fünf Perioden werden im Folgenden hinsichtlich der thermischen Belastung und der auftretenden Mortalität untersucht und mithilfe von Kenngrößen charakterisiert. Da die thermische Belastung, die von den klimatischen Elementen gemäß der vorherrschenden Witterung ausgeht, in dieser Studie als Auslöser verstanden wird, steht die Beschreibung der Witterung und der klimatischen Kennwerte an erster Stelle. Anschließend erfolgt die Analyse der Mortalität, die hier als Resultat verstanden wird. Dabei wird sowohl auf die demographische als auch auf die räumliche und zeitliche Auflösung eingegangen.

Auf die Erläuterung der jeweiligen Analyse-Methoden folgt deren Anwendung auf jede der ausgewählten Perioden. Die Detailergebnisse der fünf Perioden werden sodann zusammengefasst und untereinander verglichen. Schließlich werden die Ergebnisse der räumlichen Analyse mit dem jeweiligen Versiegelungsgrad sowie mit dem Anteil der über-65-Jährigen in der Bevölkerung abgeglichen.

4.1. Analysemethoden

4.1.1. Beschreibung der Witterung und der klimatischen Kennwerte

Zum Verständnis der Witterungsabläufe während der einzelnen Perioden wird jeweils die Entwicklung der Großwetterlage – die vorherrschenden Luftmassen und deren Ursprung – erläutert und der kritische Zeitraum durch klimatische Kenngrößen charakterisiert. Sowohl für die einzelnen Stationen getrennt wie für das Untersuchungsgebiet insgesamt werden die dreiwöchigen Mittelwerte sowie die aufgetretenen Extreme genannt.

Zielgrößen stellen die den thermischen Wirkungskomplex beeinflussenden Klimaelemente 'Lufttemperatur', 'Sonnenscheindauer', 'Bedeckungsgrad', 'Globalstrahlung' sowie 'Dampfdruck' und 'Windgeschwindigkeit' dar. Hinzu kommt außerdem die 'Gefühlte Temperatur', für die an jeder Station aus drei bzw. zwei Stunden-Werten zunächst ein Tages- bzw. ein Nachtwert gebildet wird. Anschließend werden diese zur Erstellung der Mittelwerte auf räumlicher und zeitlicher Basis herangezogen; der jeweils höchste Wert wird jedoch wieder aus den in dreistündlicher Auflösung vorliegenden Daten ermittelt.

Zur Charakterisierung der klimatischen Größen werden verschiedene Grenzwerte herangezogen. Im Bereich der Lufttemperatur sind dies die im meteorologischen Sprachgebrauch verwendeten Bezeichnungen 'Sommertag' ($T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$), 'heißer Tag' bzw. 'Hitzetag' ($T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$) sowie 'Tropennacht' ($T_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$). Die Gefühlte Temperatur wird gemäß der Klassifikation von STAIGER et al. [1997] ab 32°C als 'heiß' bezeichnet, ab 38°C sogar als 'sehr heiß'. Für die Geschwindigkeit des Windes wird die beschreibende Klassifikation nach BEAUFORT herangezogen. Beim Dampfdruck liegt nach SCHARLAU [1941: 517] die Grenze zur Schwüle bei 14,08 mmHg bzw. 18,77 hPa. Lediglich für die Strahlungsgrößen 'Sonnenscheindauer', 'Bewölkung' und 'Globalstrahlung' existieren keine Einteilungen, die einer charakterisierenden Einordnung dienen können.

4.1.2. Untersuchung der Mortalität

Die Untersuchung der Mortalität findet auf drei regionalen Ebenen statt:

- Für das Untersuchungsgebiet Berlin-Brandenburg werden die Tageswerte der Mortalität über die drei Wochen der jeweiligen Periode aufsummiert; neben der Gesamtsumme werden weiterhin die Perioden-Summen der vier nach Alter und Geschlecht aufgeschlüsselten Personengruppen ermittelt.
- Diese demographische Auflösung erfolgt ebenfalls für jedes der beiden Bundesländer separat.
- Auf kommunaler Ebene liegt der Fokus ausschließlich auf der Summe der Gesamtmortalität; ihre räumliche Verteilung während der dreiwöchigen Perioden wird in einer thematischen Karte dargestellt.

Zur Analyse und zur Darstellung der Daten werden verschiedene Hilfsmittel benutzt, deren Verwendung zunächst begründet und die anschließend vorgestellt werden.

Erwartungswert

Um Abweichungen der beobachteten Werte in der Mortalität gegenüber dem gewöhnlichen Auftreten einschätzen zu können, muss zunächst einmal dieser Normal- oder auch Erwartungswert ermittelt werden. Dafür wird die Zeitreihe mithilfe einer Zeitreihenanalyse in verschiedene Komponenten zerlegt, wobei einfache Modelle lediglich von drei Komponenten ausgehen:

dem 'Trend', der langfristige systematische Veränderungen des mittleren Niveaus der Zeitreihe beschreibt,

der 'Saison' als jahreszeitliche Schwankungskomponente sowie

dem 'Rest'.

[SCHLITTGEN & STREITBERG 2001: 9]

Der Trend kann im Falle der Mortalität durch eine lineare Gleichung erklärt werden, jedoch ist ein Polynom 2. oder 3. Grades besser dazu in der Lage. Dieser Trend wird von den Rohdaten der Mortalität subtrahiert. Sie werden dadurch vom Trend bereinigt und schwanken saisonal um die Nulllinie.

Von den trendbereinigten Werten wird über die gesamte Dauer der Datenreihe für jeden Tag des Kalenderjahres der Mittelwert gebildet, wobei die Werte des 29. Februars in den Wert des 28. eingehen. Zur Modellbildung werden Extremwerte, die größer als die dreifache Standardabweichung sind, durch diese ersetzt. Die entstehenden Werte der Saisonalität werden mit einem 29-tägigen gleitenden Mittel geglättet.

Die Saisonkurve wird durch wiederholtes Aneinanderhängen auf die ursprüngliche Länge der Datenreihe gebracht; ein 29. Februar wird mit dem Wert eines 28. aufgefüllt. Die Subtraktion der Saisonkurve von den trendbereinigten Werten lässt lediglich den weder durch Trend noch durch Saison erklärbaren Rest übrig.

Das Zusammenfügen von Trend und Saison durch Addition ergibt den Erwartungswert. Er wird in dieser Studie für alle räumlichen Einheiten der drei Auflösungsebenen bestimmt: für das gesamte Untersuchungsgebiet Berlin-Brandenburg, für die beiden Bundesländer separat sowie für ihre Verwaltungseinheiten, die Berliner Bezirke bzw. die Landkreise und kreisfreien Städte Brandenburgs.

Auf Tageswertbasis kann nun die beobachtete Mortalität mit dem erwarteten Wert verglichen und als 'Abweichung der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert' ausgegeben werden; dasselbe gilt für Summen über längere Zeiträume.

Da Mortalitätszahlen charakteristische Abbilder einer Bevölkerungsgruppe darstellen, wird auch der Erwartungswert von der vorherrschenden Altersstruktur beeinflusst und variiert zusätzlich mit der Bevölkerungszahl in dem jeweiligen Raum. Um Daten unterschiedlicher räumlicher Einheiten miteinander vergleichen zu können, muss deshalb eine gemeinsame Basis in Form einer Normierung gefunden werden. Aufgrund der zeitlichen und räumlichen Individualität des Erwartungswertes ist es notwendig, die Differenz nicht als

absolute Zahl sondern als Verhältniszahl in Prozent auszugeben. So wird die 'Abweichung der beobachteten Mortalität vom erwarteten Wert' in Prozent zu einer Größe, die normiert ist und zu Vergleichen herangezogen werden kann.

Klassen der Abweichung vom Erwartungswert

Auf Verwaltungsebene erfolgt die differenzierte Darstellung der Abweichung der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert kartographisch. Dafür werden fünf Klassen der Abweichung festgelegt, denen die Werte der Bezirke, Landkreise und kreisfreien Städte für die thematische Darstellung zugeordnet werden (vgl. Abbildung 4.01 sowie Tabelle 4-02).

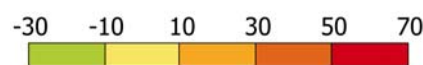


Abb. 4.01: Farbskala mit Angabe der Klassengrenzen für die Abweichung der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert in Prozent.

[Darstellung: K. Gabriel]

Bei der Wahl der Klassen wurde der Wert 'Null' nicht als Grenze verwendet, sondern vielmehr als Mittelpunkt einer indifferenten Klasse gewählt, die sich von dem Wert '- 10 %' bis zum Wert '+ 10 %' spannt. Parallel zu dieser Spannweite von 20 % wurden zu beiden Seiten weitere Klassen mit dieser Spannweite ergänzt; dabei beginnen sie jeweils mit dem vorangehenden Grenzwert zuzüglich 0,1 % und enden mit dem nächsten glatten Grenzwert. Auf Seiten der negativen Abweichungen treten Daten nur einer weiteren Klasse auf (- 10,1 % bis - 30,0 %); auf Seiten der positiven Abweichung ist dagegen die Einrichtung von drei weiteren Klassen erforderlich (bis + 70,0 % einschließlich). Sprachlich lassen sich die Klassen wie in Tabelle 4-02 dargestellt charakterisieren.

Tab. 4-02: Klassen der Abweichung vom Erwartungswert mit ihrer Spanne sowie der sprachlichen Beschreibung und der farblichen Darstellung.

Spanne der Abweichung	Klasse	Sprachliche Beschreibung	Farbliche Darstellung
- 30,0 % bis - 10,1 %	- 1	Negativ	Hellgrün
- 10,0 % bis + 10,0 %	0	Indifferent	Beige-Gelb
+ 10,1 % bis + 30,0 %	+ 1	Positiv	Gelb-Orange
+ 30,1 % bis + 50,0 %	+ 2	Stark positiv	Orange
+ 50,1 % bis + 70,0 %	+ 3	Sehr stark positiv	Rot

Der indifferenten Klasse um den Nullwert herum wurde ein beige-gelblicher Farbton zugewiesen, der zur negativen Abweichung ins Grüne und zur positiven Abweichung ins

Rote variiert. Die Farbwerte (vgl. Tabelle A3-01) wurden derart gewählt, dass die Unterschiede der einzelnen Klassen optisch deutlich zu erkennen sind.

Mithilfe dieser fünf Klassen können gewichtete Mittelwerte gebildet werden, die in dieser Arbeit als 'Schwerpunkte' bezeichnet werden. Auf Basis der Bezirke, Landkreise und kreisfreien Städte können beliebige Raumeinheiten gebildet werden, wobei dies in der vorliegenden Arbeit der Untersuchungsraum Berlin-Brandenburg als Ganzes sowie jedes Bundesland für sich ist. Die ermittelten Schwerpunkte charakterisieren die jeweilige Raumeinheit hinsichtlich ihrer Gesamt-Abweichung von der erwarteten Mortalität.

4.2. Periode von 1994

Der Sommer von 1994 trat in der Analyse des Untersuchungszeitraumes deutlich hervor: Er war bereits in der graphischen Darstellung der Daten (vgl. Abbildung 2.01) als belastet zu erkennen, und alle drei Methoden der Analyse nach Hitzebelastung bestätigten dies. So fallen die obersten 13 Werte der Gesamt-Periodenbelastungspunkte in diesen Sommer; sie traten zwischen dem 10. Juli und dem 15. August auf. Die Periode mit dem absoluten Maximum an Belastungspunkten ($n = 576$) lag zwischen dem 22. Juli und dem 11. August.

4.2.1. Wetterlage

In der Zeit vom 22. Juli bis zum 11. August wurde das Untersuchungsgebiet ausschließlich von antizyklonalen Wetterlagen beeinflusst. Ein ausgeprägtes Tief über dem Ostatlantik lenkte großräumig Warmluft bis in die obere Troposphäre, was den Aufbau eines sich bis in höhere Schichten erstreckenden Hochkeils bewirkte. Dieser dehnte sich vor allem in meridionaler Richtung aus und erweiterte damit den Einfluss der bisher nur im Norden vorherrschenden trockenen Luft von Skandinavien bis ins südliche Mitteleuropa. Es entwickelte sich ein hochreichendes, blockierendes Hochdruckgebiet (Omegasituation), das sich innerhalb von 15 Tagen nur wenig ostwärts verlagerte. Die anfängliche Zufuhr von Luftmassen aus nordöstlicher Richtung wurde im Zuge dieser Verlagerung durch die Zufuhr von Luftmassen aus dem Süden abgelöst. Erst in der Nacht zum 12. Tag der betrachteten dreiwöchigen Periode labilisierte in der Höhe einfließende Kaltluft die Atmosphäre so weit, dass der Durchzug einer Kaltfront möglich war. Der Einfluss des sich ausbildenden Nordmeerhochs sorgte im Nordosten Deutschlands für kühleres, aber immer noch sommerlich warmes Wetter. [DWD 1994a/b/c; vgl. Anhang 2].

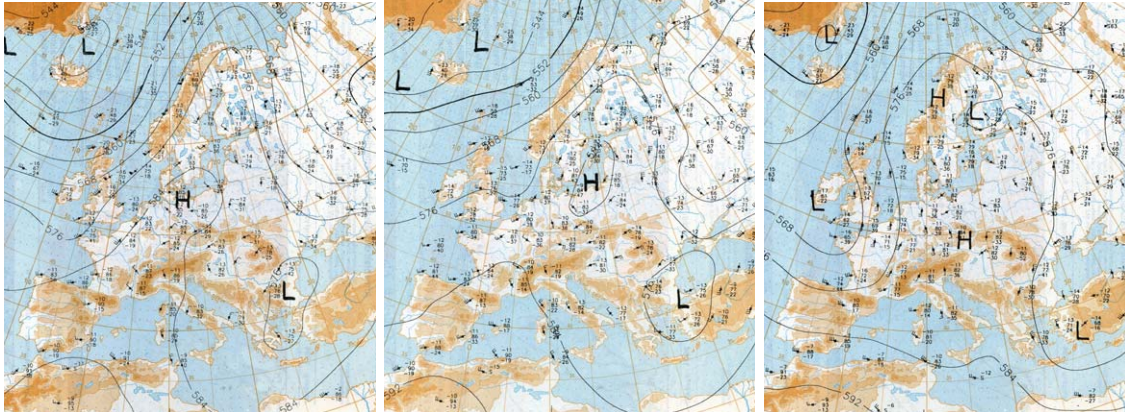


Abb. 4.02: 500 hPa-Karten vom 28. und 29. Juli sowie 01. August 1994.

[DWD 1994c: Nr. 210, 211, 213]

4.2.2. Klima

Die Entwicklung der Wetterlage führte bei den thermischen Wirkungskomplex beeinflussenden klimatischen Parametern zu extremen Werten. Im Durchschnitt lag die Tagesmaximum-Temperatur im Untersuchungsgebiet bei 31,5°C (vgl. Tabelle 4-03); das absolute Maximum trat mit 38,2°C am 01.08. in Cottbus auf, wo auch bereits einen Tag zuvor die 38°C-Marke erreicht wurde. Die nächtlichen Temperaturen lagen in Berlin-Brandenburg im Durchschnitt bei 17,7°C, wobei aber an allen Stationen wenigstens eine Tropische Nacht auftrat. Die wärmste Nacht wurde am 01.08. mit 21,9°C in Berlin-Tempelhof gemessen, in Neuruppin war es eine Nacht zuvor mit 21,8°C nur unwesentlich kühler; während es hier aber die einzige Tropische Nacht blieb, folgten in Berlin-Tegel insgesamt acht aufeinander (vgl. Tabelle A3-02).

Tab. 4-03: Klimatische Kenngrößen des thermischen Wirkungskomplexes während der Periode von 1994 (22.07.-11.08.).

		T_{\max} [°C]	T_{av} [°C]	T_{\min} [°C]	Dampfdruck [hPa]	Sonnenschein- dauer [h]	Bewölkung [1/8]	Strahlung [J/cm ²]	Windgeschwin- digkeit (m/s)	GT _{09/12/15} [°C]	GT _{00/03} [°C]
Neuruppin	Ø	30,2	24,6	17,5	16,9	11,5	2,9	2.132,6	1,6	32,2	14,8
	max	35,0	28,0	21,8	21,8	15,6	8,0	2.732,0	3,4	43,2	20,5
Angermünde	Ø	31,4	24,3	16,6	15,1	10,9	3,4	2.128,4	1,7	30,7	13,8
	max	37,0	28,8	21,2	19,7	14,5	8,0	2.695,0	2,8	38,5	20,4
B-Dahlem	Ø	31,2	24,6	17,9	15,8	11,2	2,9	2.168,7	1,4	32,6	14,9
	max	37,7	28,6	21,0	20,2	14,8	7,3	2.733,0	2,3	39,4	19,4
B-Tempelhof	Ø	31,4	26,0	19,3	15,4	10,5	3,2	2.175,8	2,0	31,3	15,1
	max	37,2	30,4	21,9	19,8	13,9	7,0	2.745,0	3,4	37,6	22,9
Wittenberg	Ø	32,3	24,9	18,0	15,0	10,1	3,7	2.168,8	1,3	32,4	15,5
	max	37,5	28,3	20,2	19,7	14,3	7,0	2.900,8	2,9	38,3	21,4
Cottbus	Ø	32,4	24,9	17,1	15,4	10,2	3,2	2.049,9	1,1	32,5	15,1
	max	38,2	28,7	21,0	20,3	14,8	7,0	2.730,0	2,2	40,4	21,5
Durchschnitt	Ø	31,5	24,9	17,7	15,6	10,7	3,2	2.137,4	1,5	32,0	14,9

Eine durchschnittliche Bedeckung von 3,2 Achtern ermöglichte im Untersuchungsgebiet eine mittlere Sonnenscheindauer von 10,7 Stunden pro Tag; das Maximum der Periode wurde mit über 15 Stunden in Neuruppin gemessen. Als Resultat erreichte die tägliche Strahlungssumme im Mittel 2.137,4 J/cm². Die höchsten Werte traten an allen Stationen während der ersten drei Tage auf, das absolute Maximum wurde am 24.07. in Wittenberg gemessen (2.900,8 J/cm²).

Der Dampfdruck lag in Berlin und Brandenburg im Mittel bei 15,6 hPa und schwankte im Untersuchungszeitraum zwischen 10,5 hPa (Wittenberg, 23.07.) und 21,8 hPa (Neuruppin, 31.07.); bei einem Grenzwert von 18,77 hPa trat demnach an jeder Station Schwüle auf. Die eher windschwachen Verhältnisse während dieser Periode (Ø 1,5 m/s) trugen nicht unbedingt zur Erleichterung bei.

Diese Verhältnisse der den thermischen Wirkungskomplex beeinflussenden Parameter führten zu durchschnittlichen Tageswerten der Gefühlten Temperatur von 32,0°C; ein solcher Wert liegt bereits im Durchschnitt an der Grenze zur Hitzebelastung. Mehrfach traten tagsüber Werte auf, die deutlich als 'heiß' wahrgenommen werden. In Extremen entwickelte sich die thermische Situation in den letzten Juli-Tagen sogar derart, dass bis

auf in Berlin-Tempelhof eine Gefühlte Temperatur von über 38,0°C erreicht wurde, was als 'sehr heiß' empfunden wird.

Die nächtlichen Werte lagen mit im Mittel 14,9°C dagegen eher im behaglichen Bereich; außer in Berlin-Dahlem gab es jedoch an den einzelnen Stationen bis zu vier Nächte, die mit über 20°C Gefühlter Temperatur in den 'leicht warmen' Bereich gelangten.

4.2.3. Mortalität

Während der ausgewählten Periode im Jahr 1994 wurden in Berlin und Brandenburg insgesamt 5.244 Todesfälle verzeichnet (vgl. Tabelle 4-04). Gegenüber dem Erwartungswert dieses Zeitraumes ist das ein Überschuss von 41,0 %. Regional ist dabei die Überschreitung im Stadtstaat Berlin mit 44,7 % deutlich stärker als im Land Brandenburg mit 32,3 %.

Tab. 4-04: Mortalität während der Hitzewelle 1994 im gesamten Untersuchungsgebiet sowie differenziert nach den Bundesländern Berlin und Brandenburg.

[Daten: Statistisches Landesamt Berlin]

22.07. – 11.08.1994		gesamt	männlich		weiblich	
			unter 50	über 50	unter 50	über 50
Berlin-Brandenburg	obs	5.244	282	1.826	92	3.044
	exp	3.718	237	1.427	95	2.055
	dev	41,0 %	19,2 %	27,9 %	- 3,6 %	48,1 %
Berlin	obs	3.156	151	1.026	55	1.924
	exp	2.181	119	784	52	1.242
	dev	44,7 %	27,4 %	30,8 %	6,2 %	54,9 %
Brandenburg	obs	2.088	131	800	37	1.120
	exp	1.579	117	623	42	789
	dev	32,3 %	12,4 %	28,5 %	- 12,7 %	41,9 %

Am 02. August 1994 traten im Untersuchungsgebiet Berlin-Brandenburg 391 Todesfälle auf. Diese Zahl stellt das absolute Maximum des gesamten Untersuchungszeitraumes dar und liegt bei 120 % positiver Abweichung vom Erwartungswert, so dass also mehr als eine Verdopplung der Todesfälle gegenüber dem Erwartungswert stattgefunden hat. Auch an den vorangehenden vier Tagen wurden sehr hohe Werte erreicht, so dass an fünf aufeinander folgenden Tagen (29. Juli – 02. August) sogar die Wintermaxima übertroffen wurden.

Der ganz überwiegende Anteil der Verstorbenen lag im Alterssegment der über-50-Jährigen (92,8 %), knapp zwei Drittel davon waren Frauen. Die unter-50-Jährigen trugen lediglich einen Anteil von 7,1 % zur Gesamtmortalität bei; hier war der Anteil der Männer (5,4 %) höher als der der Frauen (1,8 %).

Diese Anteile an der Gesamtmortalität spiegeln jedoch nicht unbedingt die Abweichung vom Erwartungswert wider: Zwar findet sich die stärkste Zunahme bei den über 50-jährigen Frauen (48,1 %), wobei der Anstieg in Berlin (54,9 %) stärker als in Brandenburg (41,9 %) war. Auch ist die Abweichung bei den Frauen unter 50 Jahren in diesem Zeitraum mit einem unterhalb der Erwartung liegenden Wert eindeutig niedriger (- 3,6 %), wobei die Abweichung in Berlin einen positiven Wert annimmt (6,2 %), der von Brandenburg dagegen deutlich negativ ist (- 12,7 %). Bei den Männern ist der Unterschied zwischen den Altersklassen jedoch nicht ganz so evident: Mit 27,9 % zeigen die Männer über 50 Jahren einen recht nahen Wert zu dem der Männer unter 50 Jahren, die mit einer Zunahme von 19,2 % gegenüber dem Erwartungswert ebenfalls eine recht hohe Abweichung erreichen.

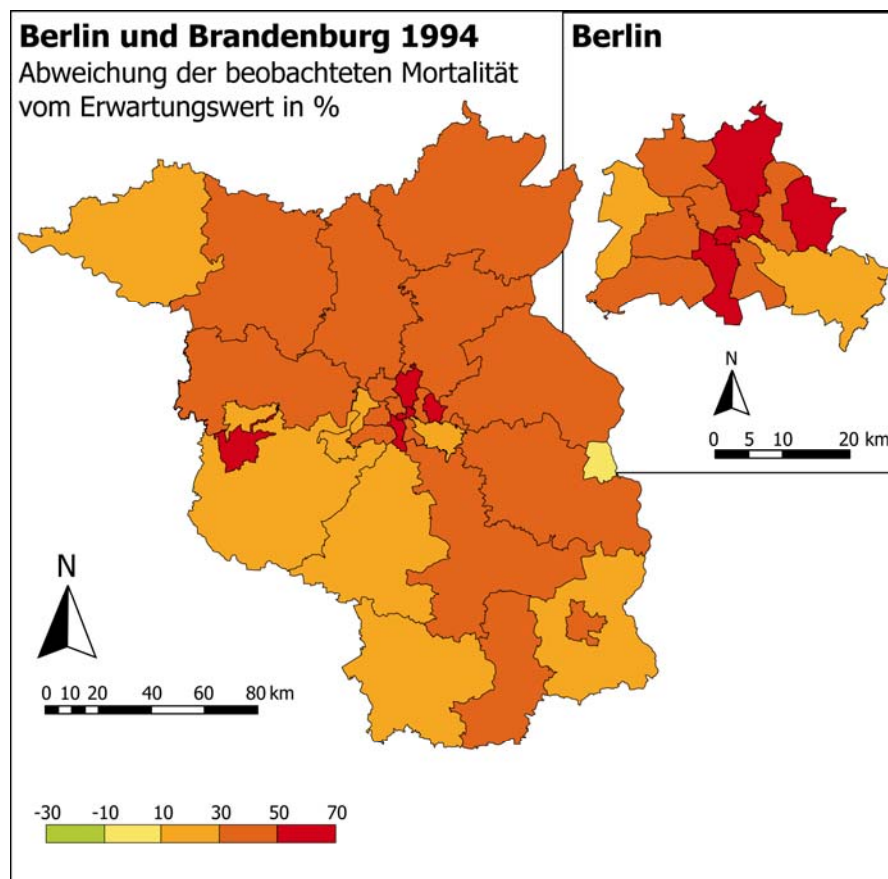


Abb. 4.03: Abweichung der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert in den Bezirken Berlins und in den Landkreisen und kreisfreien Städten Brandenburgs während der Periode von 1994 (22.07.-11.08.).

[Daten: Statistische Landesämter Berlin und Brandenburg; Bearbeitung und Darstellung: K. Gabriel]

Besonders im Stadtstaat Berlin liegen die Werte auf fast gleichem Niveau zu denen der Männer über 50 (m, < 50: 27,4 % zu m, > 50: 30,8 %); im Land Brandenburg unterscheiden sich die Werte dagegen deutlicher (m, < 50: 12,4 % zu m, > 50: 28,5 %), wobei die jüngere Personengruppe einen geringeren Anstieg verzeichnet. Damit ist im Stadtstaat Berlin bei allen Personengruppen eine positive Abweichung zu

verzeichnen, während im Land Brandenburg auch die Unterschreitung des Erwartungswertes beobachtet wird.

Die Abweichung der beobachteten Gesamtmortalität vom Erwartungswert auf Ebene der Bezirke, kreisfreien Städte und Landkreise lag während der ausgewählten Periode im gesamten Untersuchungsraum oberhalb von Null (vgl. Abbildung 4.03). In über der Hälfte der räumlichen Einheiten wurde eine stark positive Abweichung beobachtet, der Schwerpunkt tendiert leicht in Richtung der Klasse der positiven Abweichung (+ 1,8).

Während der Hitzeperiode von 1994 trat die höchste Abweichung des Untersuchungsgebietes in 'Friedrichshain-Kreuzberg' auf, einem Bezirk im Zentrum Berlins. Drei weitere Bezirke Berlins ('Marzahn-Hellersdorf', 'Tempelhof-Schöneberg' und 'Pankow') lagen ebenfalls in der höchsten Belastungsklasse, wurden jedoch noch von der kreisfreien Stadt Brandenburg übertroffen (vgl. Tabelle A4-03). Die geringste – aber immer noch positive – Abweichung während der Periode trat in der am östlichen Rand des Untersuchungsgebietes liegenden kreisfreien Stadt Frankfurt/Oder auf. Damit tendiert der Schwerpunkt in Berlin sogar in Richtung der 'sehr stark positiven' Abweichung (+ 2,2) während er in Brandenburg fast schon in der Klasse der einfachen 'positiven' Abweichung (+ 1,6).

4.3. Periode von 2006

Der Juli des Jahres 2006 war deutschlandweit der sonnigste und heißeste Juli, der in den bis 1901 und weiter zurückreichenden Archiven des Deutschen Wetterdienstes gefunden werden konnte [DWD 2006: 2]. Auch im Untersuchungsraum wurden die Grenzwerte zur Hitzebelastung nach allen drei Methoden flächendeckend häufig überschritten, so dass mit geschätzten $n = 538$ die zweithöchsten Gesamt-Periodenbelastungspunkte erreicht wurden. Entsprechend der deutschlandweiten Beobachtungen liegt die gewählte Periode ausschließlich im Monat Juli (10. bis 30.). Obwohl das Wetter rekordverdächtig auftrat, war die Wahrnehmung der breiten Bevölkerung ganz überwiegend auf die Ereignisse eines in Deutschland ausgetragenen sportlichen Großereignisses – der Fußballweltmeisterschaft – gerichtet.

4.3.1. Wetterlage

Die Witterung der dreiwöchigen Periode im Juli 2006 war überwiegend durch einen über West- und Mitteleuropa liegenden und mit Warmluft angefüllten Hochdruckkeil geprägt. Während sich ein Hochdruckzentrum über Mitteleuropa abschwächte, bildete sich vor der Küste Schottlands ein weiteres. Mit einem Kerndruck von maximal 1036 hPa erreichte es eine außergewöhnliche Intensität. Seine blockierende Wirkung in Verbindung mit hohem Sonnenstand ließ die Temperaturen stark ansteigen. Auf seiner Westseite wurde Luft subtropischen Ursprungs nach Mitteleuropa geführt. In der dritten Juli-Dekade bestimmte eine im Golf von Biskaya entstandene Antizyklone während ihres Zuges über Nord- und Ostsee das Wettergeschehen in Mitteleuropa. Während sie dem

Untersuchungsgebiet zunächst geringfügig kühlere Luft aus nördlicher bzw. nordöstlicher Richtung zuführte, drehte der Zustrom der Luft mit der Verlagerung des Zentrums von der Nord- zur Ostsee auf südliche Richtung und brachte erneut feuchte, subtropische Luft nach Mitteleuropa.

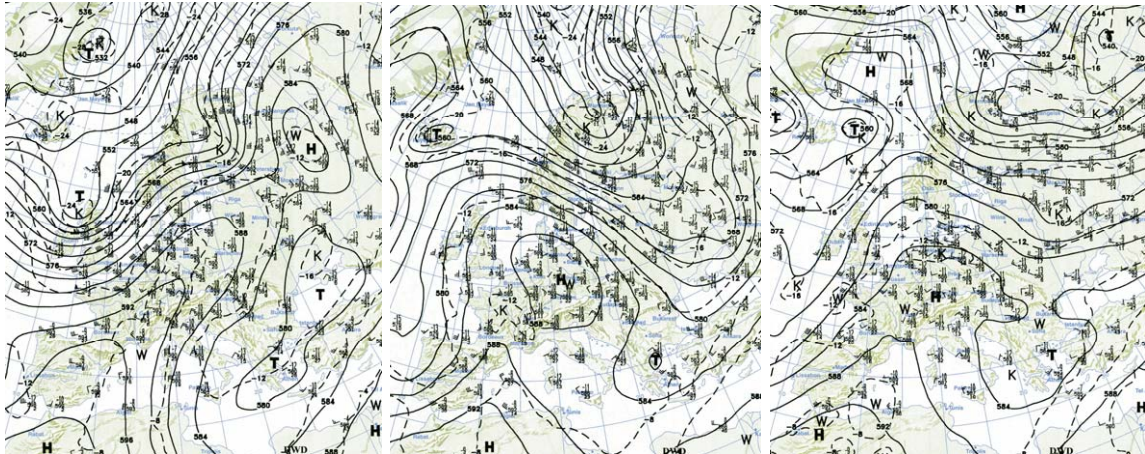


Abb. 4.04: 500 hPa-Karten vom 11., 19. sowie 26. Juli 2006.

[Berliner Wetterkarte 2006: Nr. 133, 139, 144]

Erst zum Ende der betrachteten dreiwöchigen Periode erlebte der atlantisch-europäische Raum eine großräumige Wetterumstellung, und eine Kaltfront konnte auf Deutschland übergreifen. [Berliner Wetterkarte 2006; DWD 2006; vgl. Abbildung 4.04 sowie Anhang 2].

4.3.2. Klima

Der während dieser Periode noch nahe am Höchststand liegende Einfallswinkel der Sonne ermöglichte im Zusammenspiel mit geringer Bewölkung (durchschnittlich 2,9 Achtel) und langer Sonnenscheindauer (durchschnittlich 11,8 h) für das Untersuchungsgebiet eine mittlere Strahlung von 2.402,6 J/cm² pro Tag. In Wittenberg wurde am 17.07. sogar die 3.000er Marke überschritten (vgl. Tabelle 4-05).

Aufgrund dieser Einstrahlung, aber auch aufgrund der aus südlichen Richtungen herangeführten Luftmassen, wurden in Berlin und Brandenburg zum Tagesmaximum durchschnittlich 30,4°C erreicht; an einzelnen Tagen wurde an den Stationen aber bis zu 36,6°C gemessen. Die nächtlichen Temperaturen im Untersuchungsgebiet sanken durchschnittlich bis auf 16,9°C. Außer in Angermünde trat an allen Stationen wenigstens eine Nacht auf, die mit einem Minimum oberhalb von 20°C als 'Tropische Nacht' bezeichnet werden kann; Cottbus weist mit fünf Tropennächten die höchste Anzahl auf (vgl. Tabelle A3-05).

Tab. 4-05: Klimatische Kenngrößen des thermischen Wirkungskomplexes während der Periode von 2006 (10.07.-30.07.). n. d. = no data

		T_{\max} [°C]	T_{av} [°C]	T_{\min} [°C]	Dampfdruck [hPa]	Sonnenschein- dauer [h]	Bewölkung [1/8]	Strahlung [J/cm ²]	Windgeschwin- digkeit (m/s)	GT _{09/12/15} [°C]	GT _{00/03} [°C]
Neuruppin	Ø	29,6	23,7	16,3	16,3	12,0	2,8	2.382,2	1,4	32,3	13,5
	max	35,1	27,8	21,1	19,9	15,7	6,9	2.852,6	3,4	39,8	22,7
Angermünde	Ø	29,9	23,0	15,3	16,1	11,5	2,7	2.309,7	1,9	30,2	12,4
	max	35,2	26,8	19,9	22,0	15,1	6,6	2.763,9	3,4	37,4	20,9
B-Dahlem	Ø	29,9	23,5	16,7	15,7	12,1	2,9	2.407,0	1,8	31,2	12,6
	max	35,9	27,1	21,2	19,3	15,8	7,5	2.871,6	2,5	37,7	20,4
B-Tempelhof	Ø	30,5	24,7	18,2	15,5	11,9	2,8	2.426,1	2,2	31,0	14,2
	max	36,6	29,1	22,6	20,8	15,7	6,7	2.905,7	3,4	37,9	21,9
Wittenberg	Ø	31,2	24,3	17,1	13,9	11,5	3,3	2.515,2	1,8	n. d.	n. d.
	max	36,6	28,5	21,1	18,5	15,3	6,8	3.040,7	3,4	n. d.	n. d.
Cottbus	Ø	31,5	25,1	17,7	15,7	12,0	2,9	2.375,6	1,5	30,9	13,3
	max	36,6	29,7	21,8	20,5	15,7	6,9	2.852,9	2,6	36,6	19,7
Durchschnitt	Ø	30,4	24,1	16,9	15,5	11,8	2,9	2.402,6	1,8	31,1	13,2

Im Mittel konnten die Windverhältnisse als 'leichte Brise' bezeichnet werden (2 Bft), die an einzelnen Tagen im Übergang zur 'schwachen Brise' standen (3 Bft). Sie brachten an Tagen mit schwülen Verhältnissen nur wenig Erleichterung.

Die sich unter anderem aus den vorgenannten Größen zusammensetzende Gefühlte Temperatur lag im Mittel bei 31,1°C und damit noch unterhalb der Grenze zur Hitzebelastung. Etwa zwei Drittel der Einzelwerte an den Stationen müssen jedoch als 'heiß' klassifiziert werden, in Neuruppin trat sogar ein 'sehr heißer' Wert auf (20.07.: 39,8°C). Die nächtlichen Werte waren mit 13,2°C Gefühlter Temperatur im Durchschnitt 'behaglich'. In den zwei nördlichen und den zwei Berliner Stationen wurden in bis zu drei Nächten (in Berlin-Tempelhof) Werte gemessen, die die Klassifizierung mit 'leicht warm' erfordern (vgl. Tabelle 4-05 sowie Tabelle A3-05). Die Werte von Wittenberg bleiben unklar, da von dieser Station keine Daten für 2006 vorliegen.

4.3.3. Mortalität

Im Sommer 2006 verstarben im ausgewählten Zeitraum 3.700 Personen, die im Untersuchungsgebiet gemeldet waren; der Erwartungswert wurde damit um etwa 17 %

überschritten (vgl. Tabelle 4-06). Auch während dieser Periode war die Abweichung vom erwarteten Wert mit 19,2 % in Berlin höher als in Brandenburg (16,9 %).

Die Personengruppe der über 50-Jährigen stellt mit fast 94 % den stärksten Anteil an der Gesamtmortalität, wobei etwas mehr Verstorbene weiblich waren als männlich. Von den 6,3 % der unter 50-Jährigen sind hingegen gut zwei Drittel männlich.

Tab. 4-06: Mortalität während der Hitzewelle 2006 im gesamten Untersuchungsgebiet sowie differenziert nach den Bundesländern Berlin und Brandenburg.

[Daten: Statistisches Landesamt Berlin]

10.07. – 30.07.2006		gesamt	männlich		weiblich	
			unter 50	über 50	unter 50	über 50
Berlin-Brandenburg	obs	3.700	167	1.541	65	1.927
	exp	3.166	157	1.326	65	1.590
	dev	16,9 %	6,5 %	16,2 %	0,6 %	21,2 %
Berlin	obs	2.044	96	826	34	1.088
	exp	1.715	76	736	33	905
	dev	19,2 %	25,8 %	12,3 %	3,0 %	20,3 %
Brandenburg	obs	1.656	71	715	31	839
	exp	1.428	72	646	28	743
	dev	16,0 %	- 0,9 %	10,7 %	10,4 %	12,9 %

Die Abweichung vom Erwartungswert fällt im gesamten Untersuchungsgebiet bei den Frauen über 50 mit 21,2 % am stärksten aus, gefolgt von dem Wert der über 50-jährigen Männer (16,2 %); die geringste Abweichung weisen mit 0,6 % die unter 50-jährigen Frauen auf. Der Vergleich der beiden Bundesländer zeigt, dass lediglich die Personengruppe 'w, < 50' in Brandenburg eine stärkere Zunahme verzeichnet als in Berlin; die anderen drei Personengruppen weichen in Berlin stärker als in Brandenburg vom Erwartungswert ab. Der größte Zuwachs gegenüber dem Erwartungswert ist hier mit 25,8 % bei den Männern unter 50 zu verzeichnen. Dennoch wurde in Berlin auch in dieser Periode bei allen Personengruppen eine Zunahme der Mortalität gegenüber dem Erwartungswert verzeichnet, während in Brandenburg die Mortalität der Männer unter 50 leicht unter dem Erwartungswert blieb.

Die Darstellung der Abweichung der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert auf Ebene der Bezirke, kreisfreien Städte und Landkreise zeigt keine Häufung von Gebieten mit ausgeprägter Abweichung in Berlin (vgl. Abbildung 4.05); vielmehr liegen die zwei Gebiete mit der stärksten Abweichung nördlich und südlich von Berlin im Land Brandenburg ('Oberhavel' 34,2 %, 'Dahme-Spree' 31,8 %). Sie können der Klasse 'stark positiv' zugeordnet werden, Werte der höchsten Klasse treten hingegen nicht auf. Während die Berliner Bezirke mit indifferenter Klassierung eine positive Abweichung zeigen, liegen die Brandenburger Landkreise dieser Klasse im negativen Bereich. Die

kreisfreie Stadt Brandenburg wird als einzige Verwaltungseinheit der Klassifikation 'negative Abweichung' zugeordnet (vgl. Tabelle A4-06).

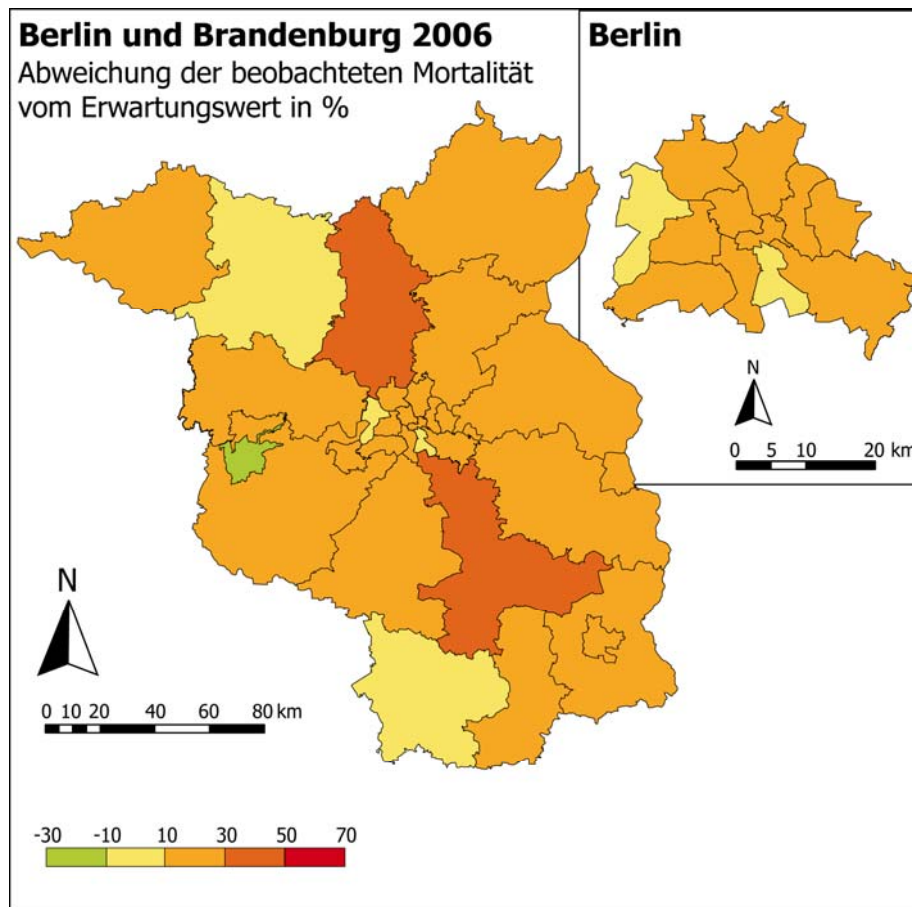


Abb. 4.05: Abweichung der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert in den Bezirken Berlins und in den Landkreisen und kreisfreien Städten Brandenburgs während der Periode von 2006 (10.07.-30.07.).

[Daten: Statistische Landesämter Berlin und Brandenburg; Bearbeitung und Darstellung: K. Gabriel]

Insgesamt ist in gut zwei Dritteln der Gebietsflächen die Abweichung vom Erwartungswert positiv, wobei der Schwerpunkt (+ 0,9) etwas zur indifferenten Klasse verschoben ist. Zwischen den beiden Bundesländern besteht hier kaum ein Unterschied (Berlin: + 0,8; Brandenburg: + 0,9).

4.4. Periode von 1997

Erst in den thermischen Analysen ist der Sommer 1997 in Bezug auf Hitzebelastung auffällig geworden. Die höchste Gesamtsumme der Perioden-Belastungspunkte lag zwischen dem 08. und dem 28. August bei $n = 493$. Damit erreicht die am stärksten belastete Periode dieses Jahres 1997 den dritten Rang im gesamten, 17 Jahre dauernden Untersuchungszeitraum.

4.4.1. Wetterlage

Der August 1997 wurde weitgehend durch eine stabile Hochdruckbrücke geprägt, die sich zunächst von Nordnorwegen bis zur Adria erstreckte; im Beobachtungszeitraum verlagerte sich der nördliche Teil nach Russland, der südliche verschob sich gleichzeitig nach Westen. Auf der Vorderseite verschiedener Tiefs westlich von Irland führte die südliche Strömung immer wieder warme bis feucht-heiße Luftmassen bis nach Norwegen nordwärts und stützte den Höhenrücken damit. Fronten erreichten zwar gelegentlich den Westen Deutschlands, hatten aber auf das Wettergeschehen im Osten nur wenig Einfluss. Eine große Anzahl von Sonnenscheinstunden konnte hier zu hohen Temperaturen führen. So lag die gesamte dreiwöchige Periode um bis zu 11 K über dem langjährigen Mittel. [DWD 1997a/b/c; vgl. Abbildung 4.06 sowie Anhang 2].

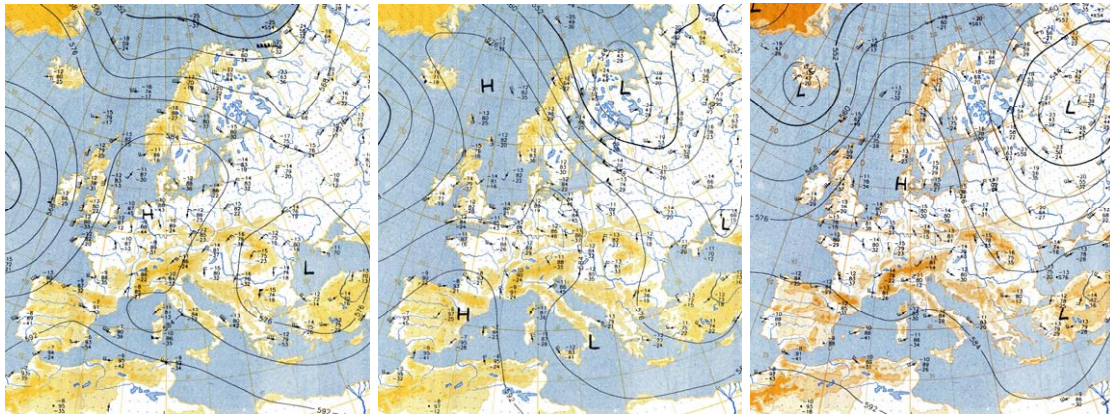


Abb. 4.06: 500 hPa-Karten vom 12., 14. sowie 17. August 1997.

[DWD 1997c: Nr. 224, 226, 229]

4.4.2. Klima

Die Tagesmaximum-Temperatur lag im Untersuchungsgebiet im Durchschnitt bei 29,1°C und erfüllte damit nicht mehr die Voraussetzungen, um als 'Hitzetag' klassifiziert zu werden. Einzelne Tages-Werte an den Stationen überschritten aber die 30°C-Marke, das Maximum der dreiwöchigen Periode wurde mit 32,6°C am 25.08. in Wittenberg erreicht. Obwohl es kaum extrem hohe Werte gab, erreichten die Mittelwerte durch das Ausbleiben besonders niedriger Messungen trotzdem ein hohes Niveau: Die Maximum-Temperatur bewegte sich nur in einer Spanne von 6,0 K. Auch die Minima blieben in den drei Wochen in einem engen Bereich und lagen im Durchschnitt bei 16,4°C; lediglich in Neuruppin trat am 24.08. eine 'Tropische Nacht' auf. Die Periode von 1997 war also nicht besonders heiß – aber anhaltend warm (vgl. Tabelle A3-03).

Besonders in der letzten der drei Wochen floss in das Untersuchungsgebiet Luft mit einem hohen Feuchtigkeitsgehalt ein. Am 23. und 24. August traten beim Dampfdruck an den Stationen in Berlin und Brandenburg flächendeckend Werte oberhalb der

Schwülegrenze von 18,77 hPa auf, der höchste Wert wurde mit 22,5 hPa in Neuruppin gemessen.

Der im August bereits herabgesetzte Neigungswinkel der Sonne führte zusammen mit der ebenfalls reduzierten maximalen täglichen Sonnenscheindauer in dieser Periode zu einer durchschnittlichen Einstrahlung von 1.887,9 J/cm². Tage, an denen aufgrund geringer Bewölkung die Sonnenscheindauer fast ihr Maximum erreichte, wiesen aber noch eine Einstrahlung von über 2.200 J/cm² auf.

Tab. 4-07: Klimatische Kenngrößen des thermischen Wirkungskomplexes während der Periode von 1997 (08.08.-28.08.).

		T_{max} [°C]	T_{av} [°C]	T_{min} [°C]	Dampfdruck [hPa]	Sonnenschein- dauer [h]	Bewölkung [1/8]	Strahlung [J/cm²]	Windgeschwin- digkeit (m/s)	GT_{09/12/15} [°C]	GT_{00/03} [°C]
Neuruppin	Ø	28,6	22,7	17,1	17,9	10,1	3,2	1.848,1	1,4	30,7	13,6
	max	31,4	24,4	21,2	22,5	14,3	6,3	2.288,0	3,4	38,1	18,7
Angermünde	Ø	28,6	21,9	15,5	16,1	10,5	2,8	1.953,4	1,5	28,5	11,9
	max	30,7	24,5	19,3	21,3	13,5	6,3	2.257,0	3,7	37,9	15,0
B-Dahlem	Ø	29,4	22,7	16,4	16,3	9,2	3,5	1.841,4	1,4	30,0	12,4
	max	31,9	24,8	19,2	21,0	13,3	7,0	2.255,0	3,0	36,6	16,1
B-Tempelhof	Ø	29,3	23,9	17,5	16,1	9,3	3,5	1.850,5	2,0	29,3	13,6
	max	31,7	26,2	19,8	21,6	13,2	6,7	2.246,0	4,7	36,3	18,1
Wittenberg	Ø	29,9	22,8	16,7	14,9	9,1	4,2	1.880,5	1,6	29,2	13,3
	max	32,6	25,4	18,9	20,6	13,4	7,3	2.401,4	3,4	36,6	20,1
Cottbus	Ø	29,1	22,4	15,4	15,9	10,4	3,1	1.953,4	1,4	30,0	12,3
	max	31,5	24,4	18,2	19,9	13,6	6,3	2.311,0	3,4	36,7	18,3
Durchschnitt	Ø	29,1	22,7	16,4	16,2	9,8	3,4	1.887,9	1,6	29,6	12,9

In Abhängigkeit von den Strahlungsverhältnissen erreichte die Gefühlte Temperatur trotz der moderaten Werte der Lufttemperatur an den einzelnen Stationen die Belastungsstufe 'heiß', in Neuruppin waren die thermischen Verhältnisse am 13. August sogar 'sehr heiß'. Im Durchschnitt waren die ermittelten Werte der Gefühlten Temperatur aber der Kategorie 'warm' zuzuordnen. Die Nachtwerte der Gefühlten Temperatur lagen im behaglichen Bereich, lediglich in Wittenberg wurde in der Nacht zum 23. August ein Wert oberhalb von 20°C und damit im 'leicht warmen' Bereich gemessen.

4.4.3. Mortalität

Während der dreiwöchigen Periode starben 3.532 Einwohner des Raumes Berlin-Brandenburg (vgl. Tabelle 4-08). Mit 4,6 % Abweichung war diese Zahl gegenüber dem Erwartungswert nur leicht erhöht. Nach Bundesländern differenziert lag der Gesamtwert von Brandenburg mit 5,4 % leicht über dem Berliner Wert (3,1 %).

Mit 91,9 % hielt die Altersgruppe '50 +' erneut den stärksten Anteil an der Gesamtmortalität, etwas mehr als die Hälfte war dabei den Frauen zuzuschreiben. Bei den unter 50-Jährigen lagen zwei Drittel der 8,1 % bei den Männern.

Tab. 4-08: Mortalität während der Hitzewelle 1997 im gesamten Untersuchungsgebiet sowie differenziert nach den Bundesländern Berlin und Brandenburg.

[Daten: Statistisches Landesamt Berlin]

08.08. – 28.08.1997		gesamt	männlich		weiblich	
			unter 50	über 50	unter 50	über 50
Berlin-Brandenburg	obs	3.532	208	1.355	78	1.891
	exp	3.376	157	1.326	65	1.590
	dev	4,6 %	32,6 %	2,2 %	20,7 %	18,9 %
Berlin	obs	2.003	109	740	44	1.110
	exp	1.943	76	736	33	905
	dev	3,1 %	42,9 %	0,6 %	33,2 %	22,7 %
Brandenburg	obs	1.529	99	615	34	781
	exp	1.451	72	646	28	743
	dev	5,4 %	38,2 %	- 4,8 %	21,0 %	5,1 %

Der Erwartungswert der 'Männer über 50' lag im gesamten Untersuchungsgebiet mit 2,2 % relativ niedrig, in Brandenburg wurde er mit – 4,8 % sogar unterschritten. Bei beiden Frauengruppen traten dagegen positive Abweichungen auf, die 'Männer unter 50' zeigten mit ihren Werten sogar eine stark positive Abweichung vom Erwartungswert; in Berlin wurde in dieser Personengruppe mit 42,9 % die stärkste Abweichung dieser Periode festgestellt. Auf Bundeslandebene betrachtet lagen die Werte von Berlin durchgehend über denen von Brandenburg.

Dies gibt auch die Differenzierung der Abweichungswerte auf kommunaler Ebene wieder: Die Berliner Bezirke weisen indifferente oder positive Abweichungen vom Erwartungswert auf, während in den Verwaltungseinheiten Brandenburgs neben positiven auch negative Werte auftreten (vgl. Abbildung 4.07 sowie Tabelle A4-04): Hier ist der höchste Wert mit einer stark positiven Abweichung von 33,1 % in der kreisfreien Stadt 'Potsdam' zu finden, der niedrigste Wert mit einer negativen Abweichung (- 17,8 %) nordöstlich von Berlin im Landkreis Barnim. In Berlin tritt der höchste Wert (+ 16,6 %) im Bezirk 'Lichtenberg' auf, dagegen in 'Reinickendorf' mit einem negativen Wert (- 7,2 %) der geringste.

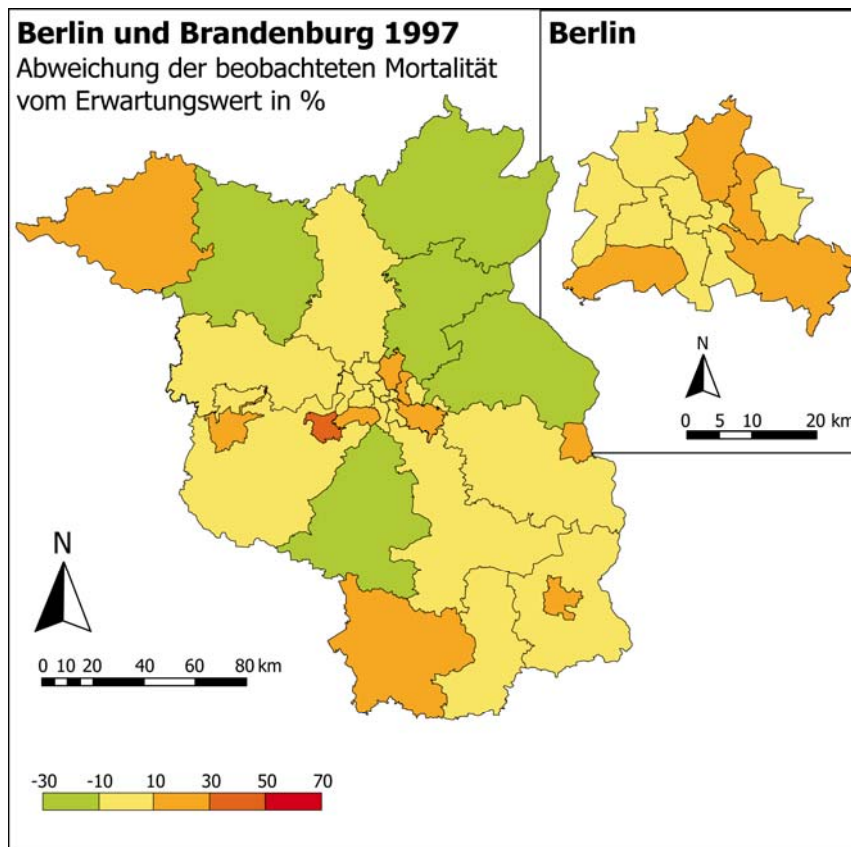


Abb. 4.07: Abweichung der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert in den Bezirken Berlins und in den Landkreisen und kreisfreien Städten Brandenburgs während der Periode von 1997 (08.08.-28.08.).

[Daten: Statistische Landesämter Berlin und Brandenburg; Bearbeitung und Darstellung: K. Gabriel]

Die Hälfte der Verwaltungseinheiten im Untersuchungsgebiet weist eine indifferente Abweichung der Mortalität vom Erwartungswert auf, wobei eher ein positiver Wert aufgetreten ist als ein negativer. Da ein Drittel der Flächen eine positive oder stark positive Abweichung aufweist, ist der Schwerpunkt mit + 0,2 leicht zum positiven verlagert. Im Vergleich der beiden Bundesländer zeigt Berlin eine etwas stärkere Abweichung (+ 0,3) als Brandenburg (+ 0,1).

4.5. Periode von 2003

Im Sommer 2003 trat im westlichen Europa eine Hitzewelle mit bis dahin ungekannten Auswirkungen auf. Besonders in Frankreich forderte sie eine hohe Anzahl von Menschenleben, aber auch in den angrenzenden Ländern stiegen die Mortalitätsraten weit über das Normale [ROBINE et al. 2007]. Die mit der Hitze verbundene Dürre verursachte zudem Schäden in Industrie und Landwirtschaft: Wegen niedriger Wasserstände an Elbe und Rhein musste die Schifffahrt zeitweise eingestellt werden. Ungewöhnlich hohe Wassertemperaturen führten aufgrund von Sauerstoffmangel zu Fischsterben, aber auch die Kühlung von Atomkraftwerken konnte nicht mehr gewährleistet werden, so dass sie gedrosselt oder abgestellt werden mussten. In der Landwirtschaft wurden am Erntegut Dürreschäden verzeichnet. Besonders in Südeuropa, aber auch im Untersuchungsgebiet traten Waldbrände auf [DWD 2003: 4].

In Berlin und Brandenburg wurden die höchsten Temperaturen etwa zwei Wochen vor dem Maximum in Westeuropa verzeichnet. Die drei Wochen mit den meisten Perioden-Belastungspunkten ($n = 490$) lagen daher zwischen dem 16. Juli und dem 05. August.

4.5.1. Wetterlage

Zwischen dem 16. Juli und dem 05. August wurde das Wettergeschehen über Mitteleuropa überwiegend von Hochdrucksystemen geprägt. Zunächst schob sich ein mit Warmluft angefüllter Höhenhochkeil über dem europäischen Festland weit nach Norden und verband sich dort mit einem Hoch über Nordskandinavien. Zwischen ihm und einem nordatlantischen Höhentrog floss durch die südwestliche Höhenströmung subtropische Warmluft nach Mitteleuropa ein. Nach zwischenzeitlich wechselhaftem Wetter verband sich am 01. August der Höhenrücken über Osteuropa mit einem Höhenkeil über Südwesteuropa, so dass sich erneut eine starke Hochdruckbrücke ausbildete, die sich vom westlichen Mittelmeer bis nach Nordosteuropa erstreckte. In den folgenden Tagen weitete sie sich nach Norden über die Britischen Inseln bis ins Nordmeer aus. Sehr heiße, tropische Luft wanderte von Portugal kommend über Spanien und Frankreich nach Mitteleuropa ein. Während am 05. August das Zentrum der hochreichenden Antizyklone über Mittelfrankreich lag und zu extremen Temperaturen führte, konnte einen Tag später nordöstlich der Elbe kühlere Luft einsickern, die die Situation im Untersuchungsgebiet entspannte [Berliner Wetterkarte 2003; DWD 2003a/b; vgl. Abbildung 4.08 sowie Anhang 2].

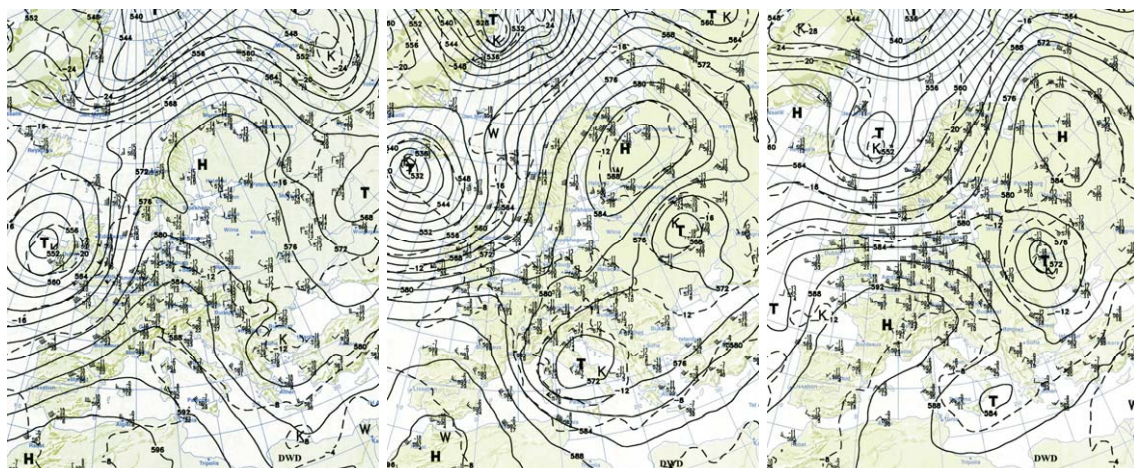


Abb 4.08: 500 hPa-Karten vom 20. Juli sowie 01. und 04. August 2003.

[Berliner Wetterkarte 2003: Nr. 139, 148, 149]

4.5.2. Klima

Die aus südlichen Richtungen eingeflossene Luft ließ die Temperaturen tagsüber im Untersuchungsgebiet auf durchschnittlich 29,0°C steigen. An allen Stationen wurden jedoch 'Hitzetage' registriert, wobei das absolute Maximum der Periode mit 34,8°C am 27.07. in Wittenberg auftrat (vgl. Tabelle 4-09).

Tab. 4-09: Klimatische Kenngrößen des thermischen Wirkungskomplexes während der Periode von 2003 (16.07.-05.08.).

		T_{\max} [°C]	T_{av} [°C]	T_{\min} [°C]	Dampfdruck [hPa]	Sonnenschein- dauer [h]	Bewölkung [1/8]	Strahlung [J/cm ²]	Windgeschwin- digkeit (m/s)	GT _{09/12/15} [°C]	GT _{00/03} [°C]
Neuruppin	Ø	28,2	22,6	17,0	18,0	9,2	3,9	1.962,5	1,6	30,3	13,7
	max	31,4	25,1	20,2	21,8	14,6	6,4	2.712,2	3,4	39,1	18,7
Angermünde	Ø	27,6	21,5	15,8	18,2	8,5	3,9	1.870,7	1,5	28,7	12,9
	max	33,4	25,0	18,4	22,3	14,3	6,3	2.663,0	3,4	38,8	19,2
B-Dahlem	Ø	29,1	22,7	16,9	17,5	8,8	3,7	1.930,2	1,6	29,7	12,8
	max	33,0	25,3	19,2	21,3	13,7	5,6	2.605,8	2,6	38,9	19,7
B-Tempelhof	Ø	29,3	23,2	17,7	17,5	8,6	3,9	1.939,9	2,0	29,9	13,9
	max	33,6	26,1	20,4	22,1	13,4	6,2	2.612,8	3,4	38,7	19,2
Wittenberg	Ø	30,4	23,3	16,9	16,2	8,3	4,2	2.055,9	1,5	31,5	13,4
	max	34,8	26,5	20,0	19,6	13,3	7,5	2.755,0	1,8	39,0	14,2
Cottbus	Ø	29,3	22,8	16,6	17,6	8,4	4,0	1.871,1	1,1	30,1	13,7
	max	34,5	25,4	18,3	21,0	13,3	6,1	2.551,6	1,8	39,6	19,5
Durchschnitt	Ø	29,0	22,7	16,8	17,5	8,6	3,9	1.938,4	1,6	30,0	13,4

In der Nacht lag die Temperatur durchschnittlich bei 16,8°C. An drei der sechs Stationen (Neuruppin, Berlin-Tempelhof, Wittenberg) sank die Temperatur jedoch bis zu zwei Mal nicht unter 20°C, so dass 'Tropische Nächte' auftraten (vgl. Tabelle A3-04).

Eine durchschnittliche Bedeckung von 3,9 Achtern führte in Berlin und Brandenburg zu einer mittleren Sonnenscheindauer von 8,6 Stunden pro Tag; das Maximum der Periode wurde mit über 14,6 Stunden in Neuruppin erreicht. Als Resultat lag die tägliche Strahlungssumme bei durchschnittlich 1.938,4 J/cm², in Wittenberg wurde am 20. Juli die höchste Tageseinstrahlung gemessen (2.755,0 J/cm²).

Auf Basis dieser Werte kann die Periode als 'warm' klassifiziert werden: Die Gefühlte Temperatur erreichte im Mittel 30,0°C. Dabei traten durchaus thermische Situationen auf, die als 'heiß' klassifiziert werden müssen; um den 3. August wurde an jeder Station sogar mindestens einmal die Schwelle zur Wahrnehmung als 'sehr heiß' überschritten. Die Nächte blieben dagegen im behaglichen Bereich: Weder der Mittelwert (13,4°C) noch die Extremwerte der Stationen überschritten die 20°C-Marke.

4.5.3. Mortalität

Während der drei Wochen dieser Hitzeperiode starben im Untersuchungsraum 3.376 Personen. Diese Zahl liegt um 5,6 % höher als der Erwartungswert des Zeitraumes (vgl. Tabelle 4-10). Nach Bundesländern differenziert war die Abweichung in Berlin (7,0 %) etwas stärker als in Brandenburg (6,4 %).

Von der Gesamtmortalität macht der Anteil der über 50-Jährigen 93,6 % aus, wobei etwas mehr als die Hälfte der Verstorbenen weiblich war. Bei den Todesfällen unter 50, die einen Anteil von 6,4 % an der Gesamtmortalität ausmachten, waren dagegen weniger als die Hälfte Frauen.

Tab. 4-10: Mortalität während der Hitzewelle 2003 im gesamten Untersuchungsgebiet sowie differenziert nach den Bundesländern Berlin und Brandenburg.

[Daten: Statistisches Landesamt Berlin]

16.07. – 05.08.2003		gesamt	männlich		weiblich	
			unter 50	über 50	unter 50	über 50
Berlin-Brandenburg	obs	3.376	135	1.369	82	1.790
	exp	3.198	164	1.290	70	1.640
	dev	5,6 %	- 17,6 %	6,2 %	17,7 %	9,1 %
Berlin	obs	1.875	81	734	47	1.013
	exp	1.752	85	701	36	952
	dev	7,0 %	- 4,2 %	4,7 %	29,9 %	6,4 %
Brandenburg	obs	1.501	54	635	35	777
	exp	1.411	81	613	30	717
	dev	6,4 %	- 33,2 %	3,5 %	15,4 %	8,4 %

Im gesamten Untersuchungsgebiet war die Abweichung vom Erwartungswert bei den Verstorbenen über 50 sowohl bei den Männern als auch bei den Frauen mit 9,1 % bzw. 6,2 % vergleichsweise niedrig: Sie lag im Bereich der indifferenten Klasse. Viel stärkere prozentuale Abweichungen traten hingegen bei den unter-50-Jährigen auf: Während die Frauen mit 17,7 % deutlich positiv vom Erwartungswert abwichen, war die Abweichung bei den Männern in gleicher Stärke negativ (-17,6 %). Die Differenzierung nach Bundesländern zeigt überwiegend höhere bzw. weniger stark negative Werte in Berlin, lediglich der Wert der Frauen über 50 ist in Brandenburg höher als in Berlin.

Auf Ebene der Bezirke, kreisfreien Städte und Landkreise ist bereits mit einem Blick auf Abbildung 4.09 zu erkennen, dass im überwiegenden Teil des Untersuchungsgebietes die Abweichung der Mortalität vom Erwartungswert indifferent war; die Mehrzahl der Verwaltungseinheiten nahm dabei einen Wert über Null an. Insgesamt traten aber Werte aus vier Bewertungsklassen auf, so dass sich daraus ein Schwerpunkt bei + 0,2 ergibt; der Unterschied zwischen den beiden Bundesländern liegt bei lediglich 0,1 (Berlin: + 0,3, Brandenburg: + 0,2).

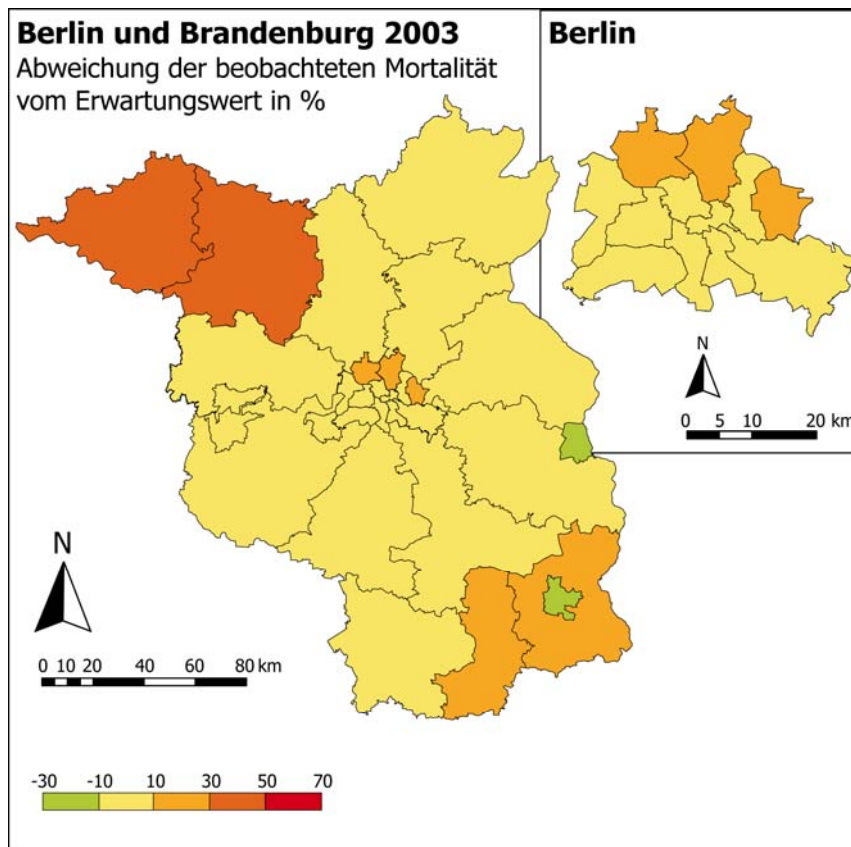


Abb. 4.09: Abweichung der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert in den Bezirken Berlins und in den Landkreisen und kreisfreien Städten Brandenburgs während der Periode von 2003 (16.07.-05.08.).

[Daten: Statistische Landesämter Berlin und Brandenburg; Bearbeitung und Darstellung: K. Gabriel]

Die höchsten Abweichungen der Mortalität traten in den nordwestlichen Landkreisen 'Prignitz' (34,1 %) und 'Ostprignitz-Ruppin' (31,0 %) auf, die niedrigsten in den östlich von Berlin gelegenen kreisfreien Städten 'Cottbus' (- 12,5 %) und 'Frankfurt/Oder' (- 14,0 %) (vgl. Tabelle A4-05). In Berlin hatten lediglich drei Bezirke Werte, die der Klasse 'positive Abweichung' zugeordnet werden konnten; der höchste Wert trat mit 18,3 % im Bezirk 'Pankow' auf, der damit jedoch immer noch niedriger lag als die zwei Brandenburger Landkreise derselben Klasse.

4.6. Periode von 1993

Im Jahr 1993 trat zwischen dem 28. Juli und dem 17. August die kühlsste der 'wärmsten Perioden' eines Jahres auf; mit der Gesamtzahl von nur $n = 219$ Perioden-Belastungspunkten zeigt sie die mit Abstand geringste Belastung aller Maximal-Perioden in den 17 Jahren des Untersuchungszeitraumes (vgl. Abbildung 3.07).

4.6.1. Wetterlage

In der Zeit vom 28. Juli bis zum 17. August bestimmten umfangreiche Tiefdrucksysteme mit Zentrum über dem Nordatlantik und Nordeuropa das Wetter in Mitteleuropa. Die während dieser Periode überwiegend zonalen Strömungen führten Luftmassen maritimen Ursprungs heran. Während der Süden auch von milder Mittelmeerluft profitierte,

überquerten den Norden in rascher Folge immer wieder Randtiefs, denen kühle Meeresluft und zum Teil grönländische Polarluft folgte. Nur von einer kurzen Stabilisierung unterbrochen, verursachten die Frontensysteme Regen und Gewitter, wobei es örtlich zu Starkniederschlägen und auch zu Graupel- oder Hagelschauern kam. Verstärkt durch die unterdurchschnittliche Sonnenscheindauer wurde der Sommer 1993 in weiten Teilen als zu kalt verzeichnet. [DWD 1993a/b/c; vgl. Abbildung 4.10 sowie Anhang 2].

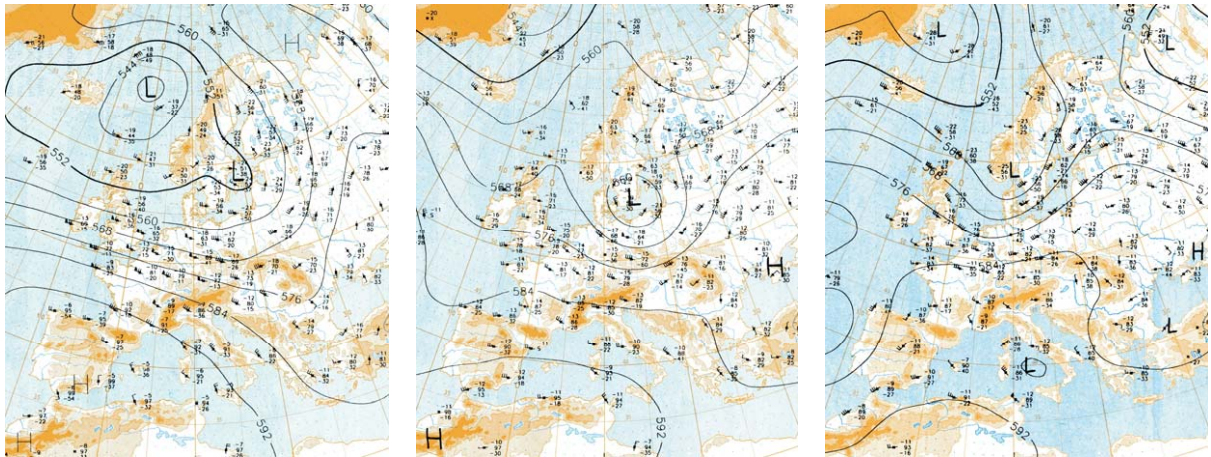


Abb. 4.10: 500 hPa-Karten vom 28. Juli sowie 07. und 17. August 1993.

[DWD 1993c: Nr. 209, 219, 229]

4.6.2. Klima

Durch das wiederholte Einfließen kühler Luftmassen wurde in Berlin und Brandenburg während der Periode von 1993 nur eine Lufttemperatur von durchschnittlich 23,5°C zum Tagesmaximum erreicht. Nachts sanken die Temperaturen im Mittel auf 13,4°C. Auch in den wärmsten Nächten lag die Temperatur unter 20°C, so dass keine 'Tropischen Nächte' auftraten.

Eine durchschnittliche Bedeckung von 4,6 Achtern ließ während der Periode eine mittlere tägliche Sonnenscheindauer von 7,4 Stunden zu, so dass sich eine mittlere Einstrahlung von 1.627,7 J/cm² ergab.

Während zweier, einige Tage lang andauernden Phasen ermöglichte eine geringere Bedeckung eine höhere Anzahl von Sonnenscheinstunden (bis zu 13,6 h in Cottbus). Durch die stärkere Einstrahlung von bis zu 2.365,2 J/cm² konnten sich die aus dem Mittelmeerraum eingeflossenen Luftmassen weiter erwärmen. Die höchsten Tagesmaxima der Periode wurden an allen Stationen am 15. August gemessen; in Angermünde, Wittenberg und Cottbus trat dabei ein 'Hitzetag' auf.

Auch in dieser Periode wurde an jeder Station wenigstens einmal ein Dampfdruck von über 18,77 hPa gemessen. Obwohl die mittlere Windgeschwindigkeit bei 2,2 m/s lag und im Maximum bis zu 6,7 m/s (4 Bft. bzw. 'mäßige Brise') in Angermünde erreichte,

brachte sie an den Tagen mit schwülen Verhältnissen keine Erleichterung, denn diese waren mit Windstärken von 1 bis 2 Bft. ausgesprochen windschwache Tage.

Tab. 4-11: Klimatische Kenngrößen des thermischen Wirkungskomplexes während der Periode von 1993 (28.07.-17.08.).

		T_{\max} [°C]	T_{av} [°C]	T_{\min} [°C]	Dampfdruck [hPa]	Sonnenschein- dauer [h]	Bewölkung [1/8]	Strahlung [J/cm ²]	Windgeschwin- digkeit (m/s)	GT _{09/12/15} [°C]	GT _{00/03} [°C]
Neuruppin	Ø	22,7	17,9	13,0	15,9	7,4	4,9	1.531,8	2,1	21,4	10,5
	max	27,8	22,6	16,0	20,4	13,3	7,3	2.152,0	4,7	39,5	15,7
Angermünde	Ø	23,1	17,6	12,8	15,9	7,8	4,8	1.638,5	2,7	20,7	10,1
	max	30,2	22,7	16,2	20,7	13,0	7,7	2.197,0	6,7	36,8	15,0
B-Dahlem	Ø	23,4	18,0	13,1	15,3	6,9	4,3	1.545,1	2,0	23,0	10,1
	max	29,5	23,0	16,1	20,2	13,1	7,3	2.236,0	5,5	35,8	16,1
B-Tempelhof	Ø	23,4	18,8	14,3	15,1	7,2	4,6	1.653,0	2,7	21,0	10,8
	max	29,7	23,8	17,3	19,4	12,9	7,3	2.301,0	5,9	35,0	18,8
Wittenberg	Ø	24,2	18,7	13,4	14,7	7,2	4,6	1.696,3	1,9	22,7	10,8
	max	31,0	24,0	16,7	19,8	13,1	7,3	2.365,2	5,3	39,6	17,7
Cottbus	Ø	24,4	18,8	13,6	15,5	8,1	4,5	1.701,7	1,8	23,5	11,3
	max	32,2	24,2	17,3	20,5	13,6	7,7	2.311,0	4,7	37,9	19,8
Durchschnitt	Ø	23,5	18,3	13,4	15,4	7,4	4,6	1.627,7	2,2	22,1	10,6

Der Tageswert der Gefühlten Temperatur lag mit durchschnittlich 22,1°C im Bereich der 'leicht warmen' Belastung. Lediglich an einem einzelnen Tag (15.08.) wurden an zwei Stationen des Untersuchungsgebietes 'sehr heiße' Werte erreicht (Neuruppin: 39,5°C; Wittenberg: 39,6°C) (vgl. Tabelle A3-01). An diesem und dem Folgetag herrschten an den anderen Stationen ebenfalls immerhin 'heiße' Verhältnisse. Die nächtlichen Werte der Gefühlten Temperatur lagen sowohl mit ihrem Durchschnitt als auch mit ihren Höchstwerten im Bereich der 'Behaglichkeit'.

4.6.3. Mortalität

In der als besonders kühl ausgewählten Periode von 1993 lag die Zahl der tatsächlich Verstorbenen um 4,1 % unterhalb des Erwartungswertes: Statt erwarteter 3.800 Todesfälle traten lediglich 3.643 auf (vgl. Tabelle 4-12). Diese negative Abweichung war in Berlin mit - 6,5 % stärker als in Brandenburg (- 3,2 %), so dass in dem Stadtstaat anteilmäßig weniger Menschen verstorben sind.

Auch in dieser Periode hatten die über 50-Jährigen an der Gesamtmortalität einen Anteil von 91,5 %, wobei über die Hälfte auf Frauen entfiel. Der Anteil der unter 50-Jährigen lag bei 8,5 %, mehr als zwei Drittel der Verstorbenen waren männlich.

Tab. 4-12: Mortalität während der Hitzewelle 1993 im gesamten Untersuchungsgebiet sowie differenziert nach den Bundesländern Berlin und Brandenburg.

[Daten: Statistisches Landesamt Berlin]

28.07. – 17.08.1993		gesamt	männlich		weiblich	
			unter 50	über 50	unter 50	über 50
Berlin-Brandenburg	obs	3.643	220	1.392	91	1.940
	exp	3.800	245	1.446	95	2.055
	dev	- 4,1 %	- 10,1 %	- 3,7 %	- 4,7 %	- 5,6 %
Berlin	obs	2.083	105	751	50	1.177
	exp	2.228	122	792	54	1.242
	dev	- 6,5 %	- 14,1 %	- 5,2 %	- 6,6 %	- 5,2 %
Brandenburg	obs	1.560	115	641	41	763
	exp	1.612	120	631	45	789
	dev	- 3,2 %	- 4,3 %	1,6 %	- 8,3 %	- 3,3 %

In der Periode von 1993 traten in allen vier Personengruppen weniger Todesfälle als erwartet auf, die 'Männer unter 50' rutschten hier sogar in die Kategorie 'stark negativ' hinein. Nach Bundesländern differenziert lagen die Werte von Berlin grundsätzlich unter denen von Brandenburg, wo die Männer über 50 sogar eine leicht positive Abweichung zeigten.

Während die bisher untersuchten Perioden jeweils vier Klassen aufwiesen, traten in der Periode von 1993 lediglich Daten über eine Spanne von drei Klassen auf. Fast zwei Drittel der räumlichen Einheiten zeigten eine indifferente Abweichung der Mortalität hinsichtlich des Erwartungswertes, wobei die überwiegende Anzahl im negativen Bereich lag. Da fast ein weiteres Drittel eine negative Abweichung aufwies, verschob sich der Schwerpunkt zum Negativen hin (- 0,2).

Im Stadtstaat Berlin zeigt die beobachtete Mortalität indifferente oder negative Abweichung vom Erwartungswert, das Land Brandenburg hatte dagegen mit Werten aus allen drei Klassen eine größere Spannweite an Werten (vgl. Abbildung 4.11). Die stärkste negative Abweichung auf Kommunalebene trat in Berlin im Bezirk 'Reinickendorf' auf, die stärkste positive Abweichung in Brandenburg im Landkreis 'Potsdam-Mittelmark' (vgl. Tabelle A4-02). Auf Bundeslandebene ergab sich dadurch in Brandenburg ein unwesentlich näher an der Null liegender Schwerpunkt (- 0,2) als in Berlin (- 0,3).

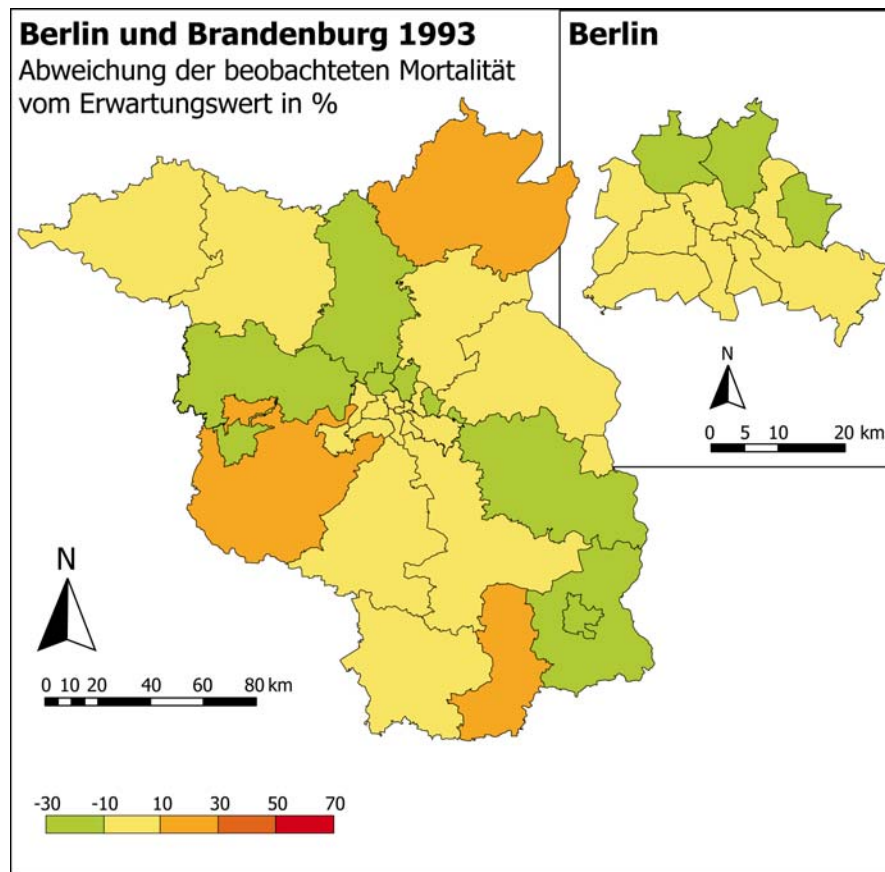


Abb. 4.11: Abweichung der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert in den Bezirken Berlins und in den Landkreisen und kreisfreien Städten Brandenburgs während der Periode von 1993 (28.07.-17.08.).

[Daten: Statistische Landesämter Berlin und Brandenburg; Bearbeitung und Darstellung: K. Gabriel]

4.7. Räumliche Zusammenhänge der Mortalität

Während der einzelnen Perioden weist die Abweichung der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert im Untersuchungsgebiet ein jeweils individuelles Verteilungsmuster auf. Eine Vielzahl von Faktoren und deren Interaktionen kann diese kleinräumig differenzierte Mortalitätsverteilung innerhalb von Berlin und Brandenburg erklären. Im Folgenden soll jedoch nur auf jeweils einen Risikofaktor innerhalb der beiden Wirkungsebenen Quelle (Emission) und Ziel (Immission) eingegangen werden. Auf der Seite der thermischen Belastung wird der Grad der Versiegelung als beeinflussender Faktor herangezogen; er stellt ein Element der Landnutzung dar, das die thermischen Verhältnisse kleinräumig variiert. Auf der anderen Seite soll der Anteil der über-65-Jährigen als Faktor der Belastbarkeit der Einwohner dienen, da mit zunehmendem Alter die Vulnerabilität gegenüber thermischer Belastung zunimmt.

4.7.1. Grad der Versiegelung

Um die Bedeutung des Versiegelungsgrades als kleinräumigen Einfluss auf die Hitzebelastung und somit auf die Mortalität sichtbar zu machen, wird der Zusammenhang zwischen der Abweichung der beobachteten Mortalität und dem Grad der Versiegelung

auf Kreis- und Bezirksebene mithilfe einer Korrelationsanalyse für jede einzelne der fünf untersuchten Perioden berechnet (vgl. Tabelle 4-13).

Tab. 4-13: Korrelation zwischen Abweichung der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert und dem Grad der Versiegelung während der Perioden 1993, 1994, 1997, 2003 und 2006.

Periode von	Korrelation	gPBP
1993	-0,12	219
1994	0,55	576
1997	0,02	493
2003	-0,07	490
2006	0,19	538

Die Korrelationskoeffizienten der fünf Perioden variieren stark: Sie liegen zwischen - 0,12 im Jahr 1993 und 0,55 im darauffolgenden Jahr 1994 – eine zeitliche Entwicklung kann damit als Begründung für die unterschiedlichen Ergebnisse ausgeschlossen werden. Eine mögliche Erklärung kann dagegen in der zunehmenden thermischen Belastung gefunden werden, die hier erneut über die Gesamtsumme der Perioden-Belastungspunkte dargestellt wird.

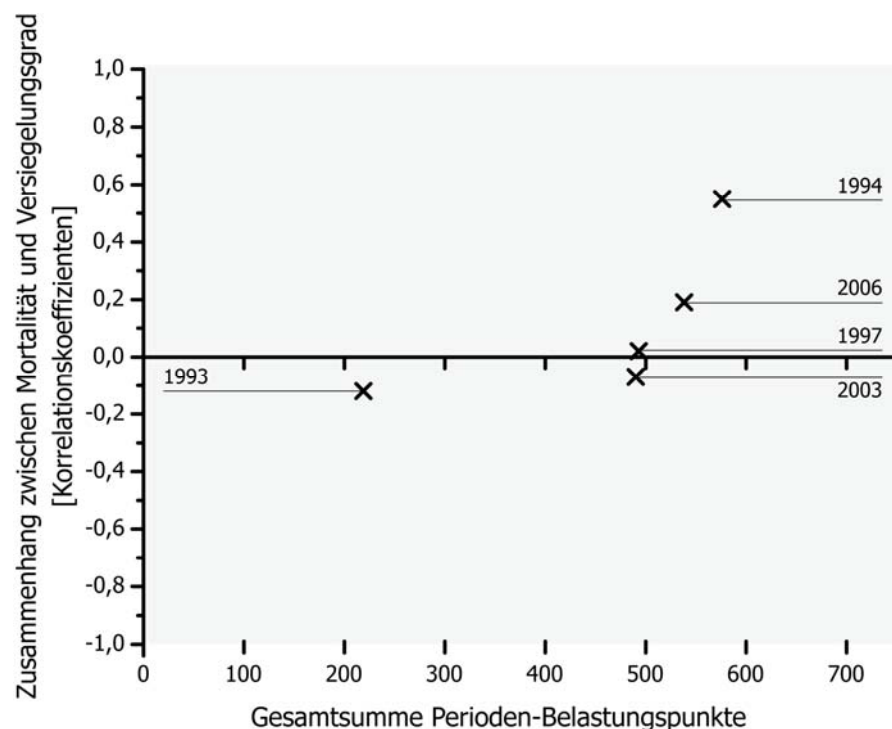


Abb. 4.12: Korrelation zwischen Mortalität und Versiegelungsgrad in Abhängigkeit von der Gesamtsumme der Periodenbelastungspunkte (gPBP).

[Bearbeitung und Darstellung: K. Gabriel]

Aus Abbildung 4.12 wird deutlich, dass der Grad der Versiegelung keinen konstanten Einfluss auf die Abweichung der Mortalität vom Erwartungswert hat, sondern erst mit steigender thermischer Belastung an Bedeutung zunimmt. In den zwei ausgeprägten Hitzeperioden von 1994 und 2006 liegen die Korrelationskoeffizienten im positiven

Bereich, 1994 mit 0,55 noch deutlicher als 2006 (0,19); d.h. je mehr ein Raum versiegelt ist, desto stärker weicht die beobachtete Mortalität vom Erwartungswert ab. In den zwei weniger ausgeprägten Hitzeperioden von 1997 und 2003 liegen die Korrelationskoeffizienten mit 0,02 bzw. – 0,07 sehr nahe am Nullwert: Ein Zusammenhang zwischen Versiegelungsgrad und Mortalitätsabweichung vom Erwartungswert ist daher nicht eindeutig gegeben. In der kühlen Periode von 1993 liegt die Korrelation im negativen Bereich (- 0,12), so dass sich hier eine stärkere Versiegelung eher protektiv auswirkte.

4.7.2. Anteil der über-65-Jährigen

Um den Zusammenhang zwischen Abweichung der Mortalität vom Erwartungswert und dem Anteil der über-65-Jährigen zu prüfen, wurde ebenfalls eine Korrelation berechnet. Auch hier variiert der Koeffizient für jedes der untersuchten Jahre (vgl. Tabelle 4-14) und bewegt sich in einer Spanne zwischen 0,08 für die Periode von 2003 und – 0,21 für die Perioden von 1994 und 2006. Damit liegen die Korrelationskoeffizienten insgesamt näher am Nullwert als bei der Korrelation von Mortalität und Versiegelung. Da die beiden niedrigsten Werte von ihrem Auftreten her weit auseinander liegen, kann eine zeitliche Entwicklung hier ebenfalls ausgeschlossen werden.

Tab. 4-14: Korrelation zwischen der Abweichung der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert und dem Anteil der Bevölkerung über 65 Jahren während der Perioden 1993, 1994, 1997, 2003 und 2006.

Periode von	Korrelation	gBPB
1993	-0,04	219
1994	-0,21	576
1997	0,05	493
2003	0,08	490
2006	-0,21	538

Auch eine zunehmende thermische Belastung, ausgedrückt durch die Gesamtsumme der Perioden-Belastungspunkte (vgl. Abbildung 4.13), scheint keine Erklärung zu liefern: Während der zwei ausgeprägtesten Hitzeperioden von 1994 und 2006 gibt es einen negativen Zusammenhang zwischen der Abweichung der Mortalität vom Erwartungswert und dem Anteil der über-65-Jährigen. Das würde bedeuten, dass sich hier ein hoher Anteil von Senioren in der Kommune protektiv auf die Mortalität ausgewirkt hätte. In den zwei moderaten Hitzeperioden von 1997 und 2003 liegen die Korrelationskoeffizienten dagegen im positiven Bereich, so dass es hier von Nachteil war, in einem Bezirk oder Landkreis mit einem hohen Anteil über-65-Jähriger zu leben.

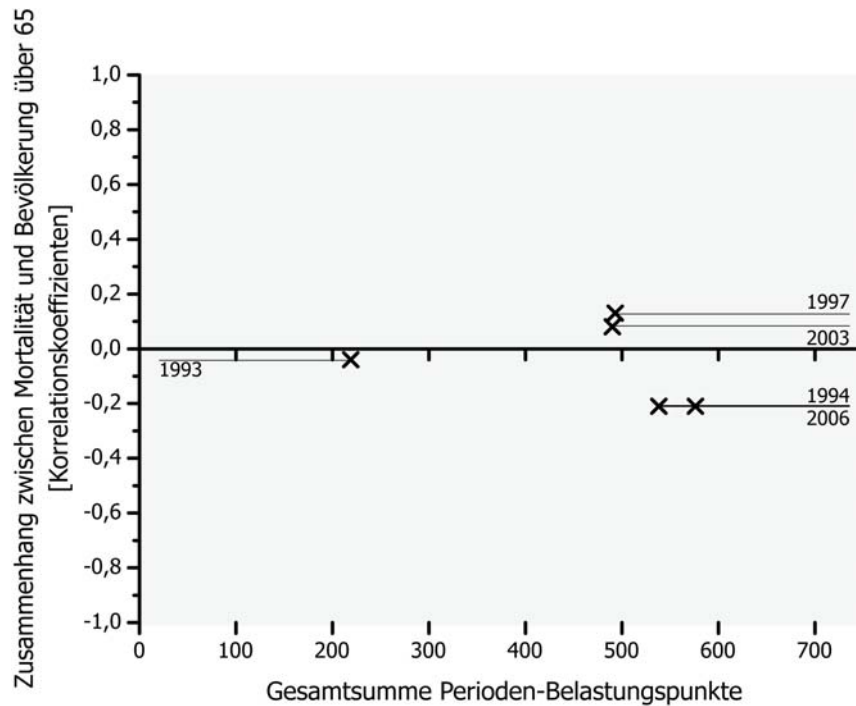


Abb. 4.13: Korrelation zwischen Mortalität und Bevölkerung über 65 Jahren in Abhängigkeit von der Gesamtsumme der Periodenbelastungspunkte (gPBP).

[Bearbeitung und Darstellung: K. Gabriel]

In dem Zusammenhang zwischen Mortalität und Alter muss demnach wenigstens ein weiterer Faktor eine Rolle spielen, der sowohl aus dem Bereich der Einwirkung als auch aus dem Bereich der Belastbarkeit kommen kann. Im vorliegenden Fall wird zunächst einmal geprüft, ob zwischen den beiden untersuchten Einfluss-Variablen 'Versiegelungsgrad' und 'Anteil der über-65-Jährigen' eine Interaktion besteht (vgl. Tabelle 4-15).

Tab. 4-15: Korrelation zwischen dem Anteil der Bevölkerung über 65 Jahren während der Perioden 1993, 1994, 1997, 2003 und 2006, unter Hinzunahme von 2000.

Periode von	Korrelation
1993	-0,01
1994	-0,06
1997	-0,22
2000	-0,42
2003	-0,57
2006	-0,61

Aus den Korrelationskoeffizienten von der Variablen 'Versiegelungsgrad' und 'Anteil der über-65-Jährigen' ist für den Untersuchungszeitraum eindeutig eine zeitliche Entwicklung zu erkennen (1993: – 0,01 bis zu 2006: – 0,61). Durch die Hinzunahme von Daten aus dem Jahr 2000 wird die Lücke zwischen den Jahren 1997 und 2003 geschlossen und die kontinuierlich verlaufende Tendenz noch deutlicher (vgl. Abbildung 4.14).

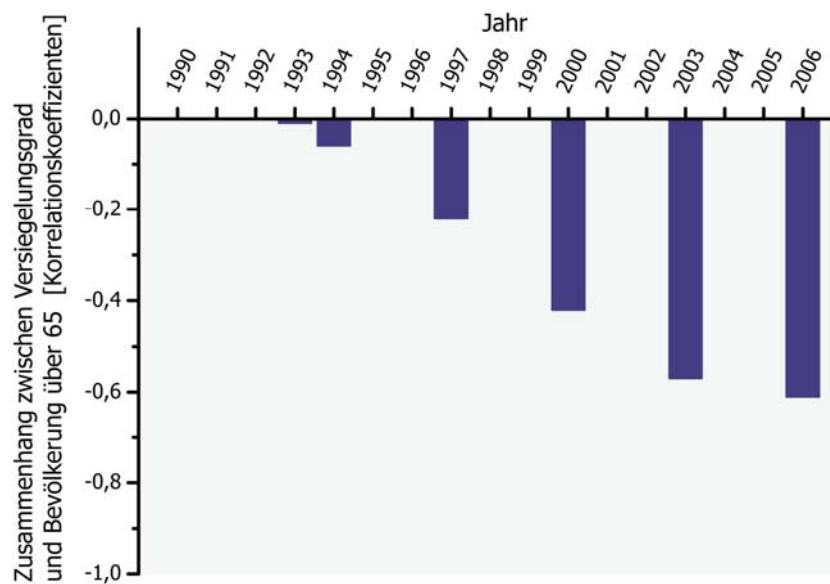


Abb. 4.14: Korrelation zwischen Versiegelungsgrad und Anteil der über-65-Jährigen in den einzelnen Kommunen während der Perioden 1993, 1994, 1997, 2003 und 2006, unter Hinzunahme von 2000.

[Bearbeitung und Darstellung: K. Gabriel]

Der Prozess von einer weitgehend gleichmäßigen Durchmischung der Bevölkerung hinsichtlich des Alters hin zu einer Konzentration von unter-65-Jährigen in stärker und von über-65-Jährigen in weniger versiegelten Gebieten lässt sich durch die gesellschaftliche Entwicklung nach der politischen Wende erklären: Zum einen wanderte die jüngere Bevölkerung aus ländlichen und damit wenig versiegelten Gebieten in Ballungszentren ab, zum anderen zog es Teile der älteren Bevölkerung aus Berlin in die nähere Umgebung des Stadtstaates. Dies hatte zur Folge, dass der Anteil von Senioren in weniger stark versiegelten kommunalen Raumeinheiten immer mehr anstieg und der Anteil von Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen im erwerbsfähigen Alter in den stärker versiegelten Gebieten zunahm.

Unter Berücksichtigung aller drei Korrelationen lassen sich die Ursachen für die Mortalitätsverteilung während der Hitzeperioden insgesamt folgendermaßen interpretieren:

- In den beiden Perioden stärkster thermischer Belastung (1994 und 2006) spielte die Versiegelung eine entscheidende Rolle in Bezug auf die Verteilung der Mortalität (Korrelationskoeffizienten von 0,55 bzw. 0,19). Die Korrelationen von 'Mortalität' und 'Alter' dieser Perioden (jeweils - 0,21) unterstützen diese Aussage, wenn auch erst unter Berücksichtigung des Zusammenhanges zwischen Altersanteil und Versiegelungsgrad: Ein als protektiv eingestuft hoher Anteil an Senioren bedeutet – besonders 2006 – gleichzeitig einen geringen Versiegelungsgrad.
- Eher keine Rolle spielte die Versiegelung in Bezug auf die Verteilung der Mortalität in den beiden weniger stark ausgeprägten Hitzeperioden von 1997 und 2003

(Korrelationskoeffizienten 0,02 bzw. - 0,07). So konnte der Risikofaktor 'Alter' zum Tragen kommen: Hier sind die Koeffizienten der Perioden beide leicht positiv (0,05 bzw. 0,08) und zeigen so die höhere Vulnerabilität von Senioren gegenüber thermischer Belastung an.

Solange die Versiegelung bei Hitze keine Rolle spielt, weicht bei thermischer Belastung die beobachtete Mortalität vom Erwartungswert in den Kommunen dort stärker ab, wo der Anteil der über-65-Jährigen höher ist. Bei zunehmender thermischer Belastung wird der Aspekt 'Alter' durch den Aspekt 'Versiegelung' überlagert.

4.8. Zusammenfassung der Ergebnisse

Die fünf untersuchten Perioden wurden auf der Grundlage der höchsten thermischen Belastung im jeweiligen Jahr ausgewählt. So liegen sie zwar alle in den Monaten Juli und August, variieren jedoch im Beginn um bis zu 29 Tage (vgl. Tabelle 4-01). Vier der fünf Jahre wurden angesichts ihrer häufigen Schwellenüberschreitungen als extrem belastet ausgewählt, das fünfte aufgrund der geringen Gesamtsumme der Perioden-Belastungspunkte zum Vergleich herangezogen.

Wetterlagen und Klima

Die vier warmen bis heißen Perioden wurden durch sogenannte Omega-Wetterlagen hervorgerufen, deren Strömungsverhältnisse Luftmassen aus Süden bis Südwesten nach Mitteleuropa heranführten. Eine große Anzahl von Sonnenscheinstunden verstärkte das Auftreten hoher Temperaturen noch. Die Tagesmaximum-Temperaturen lagen dadurch im Mittel um 30,0°C, erreichten jedoch in der Periode von 1994 Höchstwerte bis zu 38,6°C. Die thermische Belastung konnte sowohl durch wenige Extremwerte zustande kommen (wie 1994 und 2006) als auch durch ein anhaltend hohes Niveau (1997 und 2003). Während die zwei erstgenannten Perioden eine Spannweite von 13,0 K bzw. 12,0 K innerhalb der Tagesmaxima und 13,8 K bzw. 13,5 K zwischen T_{\max} und T_{\min} aufwiesen, lag während der anderen beiden Perioden die Spanne zwischen den Tagesmaximum-Werten lediglich bei 6,0 K bzw. 9,0 K; die tägliche Differenz zwischen T_{\max} und T_{\min} erreichte hier im Mittel 12,7 K bzw. 12,2 K. Nachts sank das Thermometer an mindestens einer der sechs Stationen nicht unter 20°C, so dass jeweils eine 'Tropische Nacht' auftrat. Geringe Luftdruckunterschiede über Mitteleuropa führten im Untersuchungsgebiet zu anhaltend schwachwindigen Situationen; auftretende Schwüle wurde dadurch nicht gemildert.

Tab. 4-16: Vergleich der klimatischen Kenngrößen des thermischen Wirkungskomplexes während der Hitzeperioden von 1994, 2006, 1997 und 2003 sowie der kühlen Periode von 1993.

		T_{max} [°C]	T_{av} [°C]	T_{min} [°C]	Dampfdruck [hPa]	Sonnenschein- dauer [h]	Bewölkung [1/8]	Strahlung [J/cm²]	Windgeschwin- digkeit (m/s)	GT_{09/12/15} [°C]	GT_{00/03} [°C]
1994	Ø	31,5	24,9	17,7	15,6	10,7	3,2	2.137,4	1,5	32,0	14,9
2006	Ø	30,4	24,1	16,9	15,5	11,8	2,9	2.402,6	1,8	31,1	13,2
1997	Ø	29,1	22,7	16,4	16,2	9,8	3,4	1.887,9	1,6	29,6	12,9
2003	Ø	29,0	22,7	16,8	17,5	8,6	3,9	1.938,4	1,6	30,0	13,4
1993	Ø	23,5	18,3	13,4	15,4	7,4	4,6	1.627,7	2,2	22,1	10,6

Während der kühlen Periode von 1993 herrschten dagegen zonale Strömungen vor, die aus westlichen Richtungen maritime Kalt- bis Polarluft nach Mitteleuropa führten. Anhaltende Bewölkung verbunden mit Niederschlägen führte zu einer geringen Anzahl von Sonnenscheinstunden, so dass sich die kühle Luft kaum erwärmen konnte. So lag die Tagesmaximum-Temperatur im Durchschnitt bei 23,5°C und damit etwa 6,5 K unter der der Hitzeperioden. Nachts sank die Temperatur an allen Stationen unter 20,0°C, so dass keine 'Tropische Nacht' auftrat. Zwar erzeugten ausgeprägte Luftdruckunterschiede wiederholt höhere Windgeschwindigkeiten, an windschwachen Tagen konnte jedoch auch Schwüle auftreten.

Mortalität

Im Untersuchungsgebiet gab es zwischen den thermischen Verhältnissen und der Stärke der Abweichung der Mortalität vom Erwartungswert eindeutig eine positive Wechselbeziehung: Mit steigender Gesamtsumme der Perioden-Belastungspunkte nimmt die Abweichung der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert zu (vgl. Tabelle 4-17).

Tab. 4-17: Gesamtsumme der Perioden-Belastungspunkte und Abweichung der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert in % während der Hitzeperioden von 1994, 2006, 1997 und 2003 sowie der kühlen Periode von 1993.

Periode des Jahres	gPBP	Mort dev
1994	576	41,0 %
2006	538	16,9 %
1997	493	4,6 %
2003	490	5,6 %
1993	219	-4,1 %

Besonders deutlich wird dies durch die graphische Darstellung in Abbildung 4.19, wo durch die Berücksichtigung der nicht untersuchten Perioden der exponentielle Zusammenhang zwischen den beiden Variablen offensichtlich ist. Bis etwa zu einer Gesamtsumme von 450 Perioden-Belastungspunkten steigt die Funktion kaum merklich an und verläuft fast parallel zur 0 %-Linie; ab diesem Punkt fängt sie zu steigen an, wobei sich in diesem oberen Punktebereich die vier untersuchten Hitzeperioden befinden.

Die Perioden, die von der Gesamtsumme der Perioden-Belastungspunkte her zwischen den Perioden der Jahre 1993 und 2003 lagen und deshalb nicht untersucht wurden, zeigen auch in der Mortalität eine Abweichung vom Erwartungswert, die sich zwischen denen dieser beiden Jahre befindet: Sie bewegt sich zwischen -2 % und 5 % minimal um den Nullwert (vgl. Abbildung 4.19). So liegen allein die Perioden von 1994 und 2006 eindeutig oberhalb der indifferenten Klasse, die anderen Perioden liegen alle darin. Dieses Ergebnis zeigt, dass die Auswahl der untersuchten Perioden ausreichend war, da die anderen hinsichtlich der Stärke der Mortalitätsabweichung keine zusätzlichen Erkenntnisse gebracht hätten.

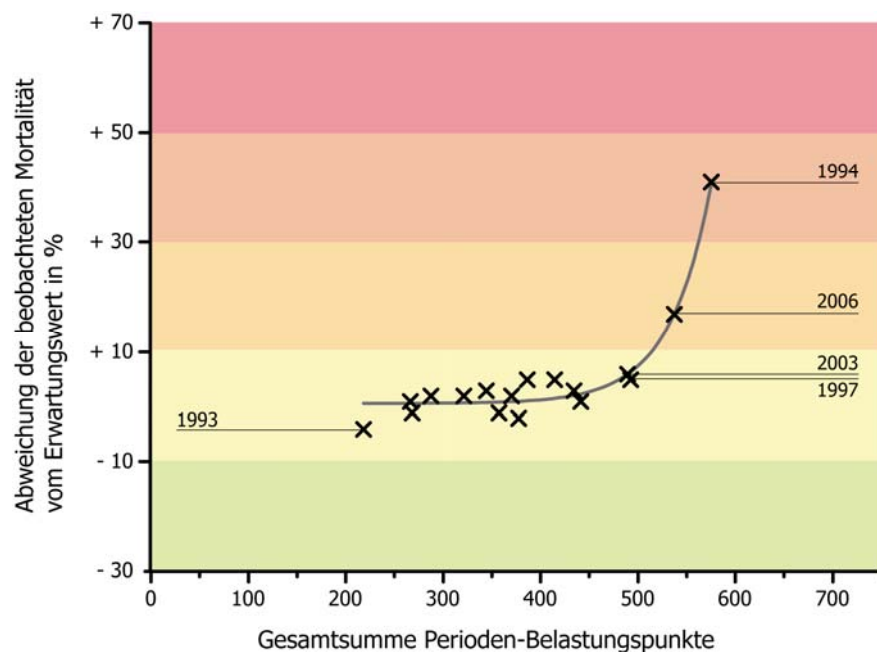


Abb. 4.15: Gegenüberstellung der Abweichung der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert in % und der jeweiligen Gesamtsumme der Perioden-Belastungspunkte (gPBP) von den Perioden mit den höchsten gPBP eines Jahres.

[Bearbeitung und Darstellung: K. Gabriel]

Der Anteil der beiden Altersgruppen an der Gesamtmortalität bleibt unabhängig von der thermischen Belastung in etwa gleich: Die über-50-Jährigen stellen in allen fünf untersuchten Perioden jeweils einen Anteil zwischen 91,5 % und 93,7 %. Die Abweichung vom Erwartungswert ist jedoch für die einzelnen Perioden unterschiedlich. Während der beiden stark belasteten Perioden der Jahre 1994 und 2006 ist sie bei den über-50-Jährigen deutlich höher als bei den unter-50-Jährigen, wohingegen bereits in den milderen Hitzeperioden von 2003 und 1997 dieser Unterschied nicht eindeutig ausgeprägt ist. Die Differenzierung nach Geschlecht zeigt in der Gruppe der über-50-

Jährigen, dass Frauen dieses Alters stärker betroffen sind: In allen vier Hitzeperioden ist bei ihnen die Abweichung vom Erwartungswert stärker als die der Männer. In der Klasse der unter-50-Jährigen kehrt sich das Geschlechterverhältnis während der drei am deutlichsten ausgeprägten Hitzeperioden (1994, 2006 und 1997) um, und die Männer sind stärker betroffen als die Frauen.

Auf räumlicher Ebene zeigen die vier heißen Jahre jeweils Abweichungen der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert, die sich über 4 Klassen erstrecken, wohingegen in der kühlen Periode von 1993 Werte auftreten, die sich nur drei Klassen zuordnen lassen können. Diese Unterschiede in der Spannweite der Mortalitätsabweichung kommen zustande, da sie durch das Auftreten von 'normalen' Todesfällen nach unten beschränkt ist; durch außergewöhnliche Ereignisse, wie beispielsweise ein Hitzeereignis, können lediglich zusätzliche Fälle entstehen, so dass die Skala nach oben offen ist.

Obwohl in Berlin und in Brandenburg während der Periode von 1994 jeweils eine 'stark positive' Abweichung auftritt, ist der Schwerpunkt in Berlin mit 2,2 in Richtung der 'sehr stark positiven' Abweichung verschoben, während der von Brandenburg an der Grenze zum nächst niedrigeren Wert (1,6) liegt. Ein derart deutlicher Unterschied zwischen den beiden Bundesländern ist ausschließlich in dieser Periode zu finden. Während der anderen vier Perioden ist eine stärkere Belastung mal in Berlin und mal in Brandenburg vorhanden, wobei der Unterschied mit jeweils nur einer Zehntelstelle auch nicht deutlich ist. Die Ergebnisse dieser Schwerpunktanalyse unterstützen den abschließenden Versuch, die Verteilung der Mortalitätsabweichung durch den Grad der Versiegelung und den Anteil der über-65-Jährigen in der jeweiligen kommunalen Raumeinheit zu erklären: Bei einer Periode mit ausgeprägter Hitzebelastung wie im Jahr 1994 stellt eine hohe räumliche Versiegelung einen ernstzunehmenden Risikofaktor dar.

5. Diskussion und Ausblick

Für den Raum Berlin-Brandenburg untersuchte die vorliegende Arbeit zunächst klimatische Zeitreihen von sechs Stationen über 17 Jahre auf das Auftreten von thermischer Belastung durch Hitze. Dafür wurden drei verschiedene Analysemethoden angewendet, die in der Literatur verbreitet zum Einsatz kommen. Hierbei erwies es sich, dass das bisherige Verfahren zur Erklärung der Hitzebelastung über das 95er Perzentil den Sachverhalt nicht ausreichend genau wieder gab, so dass ein gleitendes Perzentil eingeführt wurde.

Unter der Berücksichtigung aller drei Analysemethoden erfolgte die Bewertung dreiwöchiger Perioden hinsichtlich ihrer thermischen Belastung. Die Einführung des Systems der Perioden-Belastungspunkte (PBP) ermöglichte die Identifikation der am stärksten belasteten Periode eines jeden Jahres.

Fünf dieser Perioden wurden im Anschluss zunächst nach Witterung und klimatischen Elementen untersucht, anschließend hinsichtlich der aufgetretenen Mortalität; hierbei spielten zum einen die Bevölkerungseigenschaften 'Alter' und 'Geschlecht' eine Rolle, zum anderen das räumliche Auftreten auf kommunaler Ebene. Abschließend wurde versucht, das in den jeweiligen Perioden entstehende Muster der Mortalität mit der Landnutzung bzw. den Bevölkerungseigenschaften in Verbindung zu bringen.

5.1. Diskussion der Ergebnisse

5.1.1. Methoden

Zur Charakterisierung der klimatischen Eigenschaften des Untersuchungsgebietes und der betrachteten Perioden wurden die Werte von sechs Wetterstationen herangezogen. Gegenüber der in der Literatur weit verbreiteten Vorgehensweise von der Verwendung nur einer Station [AULICIEMS et al. 1997; BALLESTER et al. 1997; CERUTTI et al. 2006; DESSAI 2002; GARSEN et al. 2005; NITSCHKE et al. 2007; SAEZ et al. 1995; WEISSKOPF et al. 2002] wird dadurch ein detaillierteres Bild der thermischen Situation wiedergegeben. Zwar wird für den Vergleich verschiedener Raumeinheiten eine jeweils zugeordnete Wetterstation häufiger verwendet [REY et al. 2007; SHERIDAN & DOLNY 2003; SMOYER et al. 2000], nur selten ist in der Literatur jedoch die Verwendung von mehreren Stationen als Basis für einen einzelnen Untersuchungsraum zu finden [KYSÉLY & HUTH 2004; LASCHEWSKI & JENDRITZKY 2002]. Dennoch sind auch sechs Stationen nur bis zu einem bestimmten Grad für den Raum repräsentativ. Die Verwendung der synoptischen Daten erlaubt ohne räumliche Modellierung keine Differenzierung nach Stadtquartieren, und damit auch nicht nach Einzelgebäuden. Thermische Verhältnisse in Innenräumen oder Unterschiede zwischen einzelnen Stockwerken können mit diesen Daten erst recht nicht wiedergegeben werden.

Zur Bestimmung von Hitzebelastung werden erstmalig drei unterschiedliche Methoden herangezogen: Die in eine gleitende Form umgewandelte Bestimmung über das 95er Perzentil, die Feststellung des 'thresholds' über eine Regression sowie die Verwendung der Gefühlten Temperatur. Durch den Einsatz der jeweils sechs gleichen Stationen ist ein Vergleich der verschiedenen Methoden ermöglicht worden; Untersuchungen mit der Anwendung von jeweils nur einer der Methoden können jetzt zueinander ins Verhältnis gesetzt werden. Der Abstand von 5 K zwischen den Grenzwerten der Perzentil-Methode und der Regressions-Methode stimmt mit Ergebnissen von GOSLING et al. [2007] überein.

Um die Ergebnisse aller drei Methoden in die weiteren Untersuchungen mit einfließen lassen zu können, wurde das Verfahren der Perioden-Belastungspunkte entwickelt. Das binäre System gibt für jeden einzelnen Tag einen Summen-Wert der drei Methoden aus, der für beliebig gefasste Zeiträume aufaddiert werden kann; im vorliegenden Fall umfasst er drei Wochen. Da die Schwellenwerte der drei Methoden einen gewissen Abstand zueinander haben, gehen Höhe und Dauer der aufgetretenen Temperaturwerte in die Gesamtsumme der Perioden-Belastungspunkte ein, obwohl letztlich keine Angaben mehr darüber gemacht werden: Sowohl eine zunehmende Anzahl von Methoden, nach denen Belastung klassifiziert wurde und die damit die Höhe widerspiegeln, als auch eine zunehmende Anzahl der als belastet klassifizierten Tage – also die Dauer – erhöht die Gesamtsumme.

Durch die Auswahl der jeweils am stärksten belasteten Periode eines jeden Jahres werden zusätzliche, evtl. ebenfalls stark belastete Perioden aus weiteren Untersuchungen ausgeschlossen [KYSÉLY et al. 2000]. In der vorliegenden Studie wird dieser Ansatz dennoch verwendet, da die Wahl von jeweils dreiwöchigen Perioden eine zeitliche Standardisierung vornimmt; eine Abgrenzung zwischen einzelnen Perioden ist damit nicht mehr möglich.

In Studien der vorliegenden Literatur wird eine Hitzewelle entweder mit einer kühleren, 'normalen' Situation verglichen [CERUTTI et al. 2006; CONTI et al. 2005; GRIZE et al. 2005; JONES et al. 1982; ROBINE et al. 2007] oder sie wird einer oder mehreren anderen thermisch belasteten Perioden gegenüber gestellt [PALECKI et al. 2001; SMOYER 1998 a]. Durch die Kombination dieser beiden Möglichkeiten kommen hier besonders anschauliche Ergebnisse zustande.

5.1.2. Thermische Belastung

Mit der vorliegenden Arbeit konnten die grundlegenden Zusammenhänge zwischen Mortalität und thermischer Belastung durch Hitze erneut bestätigt werden. Es wird deutlich, dass auch in Nordost-Deutschland thermische Belastung zu einer Zunahme der Mortalität führen kann, obwohl hier die klimatischen Bedingungen nicht mehr die klassischen Stressoren zulassen: Die Strahlungsintensität ist durch die Lage des Untersuchungsgebietes in den mittleren Breiten bereits herabgesetzt, wodurch insgesamt nicht mehr so übermäßig hohe Temperaturen auftreten können. Der Raum Berlin-

Brandenburg liegt im Übergang von maritimem zu kontinentalem Einfluss; das führt zu eher trockeneren Luftmassen, so dass Schwüle in der Regel seltener auftritt. Dass auch Bevölkerungsgruppen mittlerer Breiten bestimmte thermische Verhältnisse als belastend erleben, ordnet sich in bestehende Untersuchungen ein: KEATINGE et al. [2000] ebenso wie SMOYER-TOMIC et al. [2003] haben diese Beziehung sogar für noch höhere geographische Breiten nachgewiesen (Finnland bzw. Kanada). Mit zunehmender Breite nimmt der Einfluss durch Hitzewellen nach HAJAT et al. [2006] jedoch ab.

Selbst auf der regionalen Ebene Nordost-Deutschlands konnte eine leichte Nord-Süd-Differenzierung der Schwelle zur thermischen Belastung in der Untersuchung aufgezeigt werden; dies war bisher nur auf kontinentaler [CURRIERO et al. 2002; GOSLING et al. 2007; HAJAT et al. 2006; ISHIGAMI et al. 2008; KEATINGE et al. 2000; MEDINA-RAMÓN et al. 2006] oder nationaler Ebene [DÍAZ et al. 2002a/b; LAAIDI et al. 2006] ermittelt worden. Im untersuchten Raum gab es zwischen den nördlichen und den südlichen Stationen einen Unterschied in der Temperatur von bis zu 2 K (vgl. Kapitel 3.3.1).

Innerhalb der 17 Jahre gab es nur zwei Sommer mit fatalen Auswirkungen: das erste Mal im Jahr 1994, das zweite Mal im Jahr 2006 (vgl. Abbildung 4.19). Diese geringe Häufigkeit ($2/17=0,118$) passt zu den Ergebnissen anderer in Europa durchgeführter Studien: KYSELÝ et al. [2000] sowie REY et al. [2007] zählen jeweils 6 Hitzewellen in 35 bzw. 33 Jahren ($6/35=0,171$ bzw. $6/33=0,182$), DÍAZ et al. [2002b] in 12 Jahren nur eine einzige ($1/12=0,083$). Für die Niederlande geben GARSSSEN et al. [2005] 33 offiziell als solche anerkannte Hitzewellen seit Beginn des 20. Jahrhunderts an ($33/104=0,317$).

BASU & SAMET [2002] weisen darauf hin, dass das zeitliche Auftreten von thermischer Belastung im Jahresverlauf eine Rolle spielt: Tritt die Hitze zeitig im Jahr auf, dann zieht das häufig mehr Todesfälle nach sich als späte Phasen. Begründet wird dies durch die fehlende Möglichkeit der Bevölkerung, sich nach dem Winter kurzfristig an die steigenden Temperaturverhältnisse anzupassen (Kurzfrist-Akklimatisation). Obwohl die untersuchten Perioden in der vorliegenden Studie alle im Juli und August auftreten, wird der Effekt im Vergleich der beiden Perioden von 1997 und 2003 deutlich. Von der Gesamtzahl der Periodenbelastungspunkte her unterscheiden sich die beiden Perioden um lediglich 3 Zähler (493 bzw. 490 gPBP); die thermischen Verhältnisse waren im Verlauf der drei Wochen demnach fast identisch. Jedoch setzte die Periode von 2003 gegenüber der von 1997 um gut drei Wochen früher ein und weist letztlich eine leicht höhere Abweichung der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert auf (5,6 %; 1997: 4,6 %).

Eine weitere, die Fatalität einer Hitzewelle beeinflussende Größe stellt die Dauer der thermisch belastenden Verhältnisse dar [SMOYER 1998 a]. Durch die Standardisierung der beobachteten Perioden auf drei Wochen schlägt sich dieser Umstand zwar auf die Gesamtsumme der Perioden-Belastungspunkten nieder, kann hier jedoch nicht mehr eigenständig beurteilt werden.

5.1.3. Mortalität

Die Unterteilung der Mortalitätsdaten auf Länderebene bei 50 Lebensjahren erscheint zunächst etwas unorthodox, da viele Studien eine Teilung bei 65 Jahren vornehmen [BORRELL et al. 2006; CERUTTI et al. 2006; DÍAZ et al. 2002a; GOUVEIA et al. 2003; LAAIDI et al. 2006; MEDINA-RAMÓN et al. 2006; SEMENZA et al. 1999]; andere setzen die Unterteilung sogar noch höher an und konzentrieren sich auf die Betrachtung von Personen über 75 Jahren [FOUILLET et al. 2008; ISHIGAMI et al. 2008; SEMENZA et al. 1996]. Eine unmittelbare Vergleichbarkeit der Studien mit den vorliegenden Ergebnissen ist damit nicht gegeben. Es werden jedoch nicht nur singuläre Schnitte und damit eine Aufteilung der Daten in zwei Klassen vorgenommen, sondern die aufgetretene Mortalität in mehreren, weniger breiten Altersklassen untersucht [DÍAZ et al. 2006b; FOUILLET et al. 2006; GEMMEL et al. 2000; HENSCHER et al. 1969; KOVATS et al. 2004; PALECKI et al. 2001; REY et al. 2007]. Aus den Arbeiten von DÍAZ et al. [2006b], FOUILLET et al. [2006] und REY et al. [2007] geht dabei hervor, dass die Vulnerabilität gegenüber thermischer Belastung bereits vor dem offiziellen Rentenalter und zwar ab einem Alter von etwa 35 Jahren ansteigt. Dabei existiert ein geschlechtsspezifischer Unterschied hinsichtlich der am stärksten betroffenen Altersklassen: Nach FOUILLET et al. [2006] sind Männer zwischen 35 und 44 Jahren besonders gefährdet, DÍAZ et al. [2006b] geben dagegen eine daran anschließende Spanne an, die von 45 bis 64 Jahren reicht. Bei Frauen setzt eine höhere Gefährdung erst ab 55 Jahren ein und nimmt dann stetig zu [BORRELL et al. 2006; FOUILLET et al. 2006; LAAIDI et al. 2006].

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit unterstützen diese Differenzierung nach Geschlecht und Altersklassen: In allen vier untersuchten Hitzeperioden weicht die beobachtete Mortalität der Frauen über 50 Jahren stärker als bei gleichaltrigen Männern vom Erwartungswert ab; in der jüngeren Altersklasse ist das Bild nicht in allen vier Hitzeperioden gleich eindeutig, es lässt aber doch eine höhere Gefährdung der Männer gegenüber den Frauen erkennen. So scheint die Unterteilung der Daten für Frauen bei 50 Jahren adäquat: Sie fasst alle vulnerablen Altersklassen zusammen und bezieht lediglich einige der nicht so stark betroffenen Jahrgänge mit ein. Für die Untersuchung der männlichen Vulnerabilität muss die Grenze bei 50 Jahren hingegen kritisch betrachtet werden, da die unter besonderem Risiko stehende Altersklasse von 35 bis 65 Jahren dabei in der Mitte geteilt wird.

Die Einteilung der Mortalitätsabweichung in 20 Prozentpunkte umfassende Klassen bietet zwar Anschaulichkeit, dennoch muss die Klassenbreite in Frage gestellt werden. Die Annahme, die Mortalität würde regulär $\pm 10\%$ um den Erwartungswert schwanken, scheint zu eng gefasst: Selbst in der kühlen Periode von 1993 treten 'positive' und 'negative', also außerhalb der 'indifferenten' Klasse liegende Abweichungen auf. Dieses Problem könnte beispielsweise dadurch gelöst werden, dass ein 95 %-Intervall wie eine 'Toleranzzone' [SCHUMAN 1972] um den Erwartungswert gelegt würde. Dieses Vorgehen

hätte als weiteren Vorteil, dass die Breite der 'Toleranzzone' sich individuell an die untersuchte Bevölkerung anpassen würde.

Obwohl die Bevölkerung in Verdichtungsräumen durch die städtische Wärmeinsel stärkerer Belastung ausgesetzt ist, wird auch ländliche Bevölkerung von Hitze betroffen [SHERIDAN 2002; SHERIDAN & DOLNY 2003]. Aus den vorgelegten Ergebnissen der Mortalität ist nicht zu erkennen, dass leichte Hitzeperioden in der Stadt durch die Versiegelung intensiviert werden und somit hier die Abweichung der Mortalität vom Erwartungswert größer als im ländlicheren Umland ist; vielmehr nimmt gerade bei den Perioden mit leichter thermischer Belastung die Mortalität in weniger versiegelten Gebieten stärker als im innerstädtischen Raum zu.

Das Muster der räumlichen Mortalitätsverteilung mit raumbezogenen Daten des Versiegelungsgrades und dem Anteil der über-65-Jährigen erklären zu wollen, ist lediglich ein Ansatz. Wie aus der Literatur bekannt ist, existieren weitere personen- und raumbezogene Risikofaktoren [BORRELL et al. 2006; MEDINA-RAMÓN et al. 2006; MICHELOZZI et al. 1999; O'NEILL et al. 2005; REY et al. 2007; SCHUMAN 1972; SEMENZA et al. 1996; SMOYER 1998 b; TAN et al. 2007]. Da sie als Komposition die Vulnerabilität beeinflussen, sollten sie auch auf möglichst breiter Ebene zur Erklärung ihrer Verteilung herangezogen werden.

Nicht berücksichtigt werden hier klimatische Aspekte außerhalb des thermischen Wirkungskomplexes, wie z.B. Feinstaub- oder Ozonkonzentration. Ein positiver Zusammenhang zwischen der Dosis dieser Luftbeimengungen und der thermischen Belastung ist jedoch aus der Literatur bekannt [DÍAZ et al. 2002a; DÍAZ et al. 2006a; FILLEUL et al. 2006; GRASS & CANE 2007; ISHIGAMI et al. 2008].

Allgemein ist festzuhalten, dass eine Vereinbarung von hoher zeitlicher und gleichzeitig detaillierter räumlicher Auflösung der Daten aufgrund der Datenfülle aber auch aus Gründen des Datenschutzes zumeist nicht möglich ist; je nach Fragestellung muss entweder hinsichtlich der einen oder der anderen Information fokussiert werden. In der vorgelegten Arbeit zieht beispielsweise die Auflösung nach täglichen Daten auf kommunaler Ebene einen Informationsverlust hinsichtlich des Alters in den Mortalitätsdaten nach sich.

5.1.4. Vergleich von 1994 und 2006

Obwohl im Sommer 1994 ein für das Untersuchungsgebiet derart fataler Sommer auftrat, zog er innerhalb der Wissenschaft kaum Aufmerksamkeit auf sich; lediglich in Belgien wurden in seiner Folge Untersuchungen durchgeführt [SARTOR et al. 1995; SARTOR et al. 1997]. Für Tschechien und die Niederlande liegen Studien vor, die diese Periode im Rahmen von Zeitreihenanalysen erwähnen: Während sie für Tschechien mit einer Dauer von mehr als einem Monat als "extraordinary" [KYSÉLY et al. 2000: 57] bezeichnet wird, dauerte sie nach HUYNEN et al. [2001] in den Niederlanden nur knapp zwei Wochen und

findet trotz deutlich erhöhter Mortalitätszahlen keine spezielle Erwähnung. SARTOR et al. [1995] geben in Belgien für diesen Sommer dagegen ebenfalls 42 Tage Dauer an.

Ein direkter Vergleich mit der Periode aus dem Jahr 2006 bietet mehrere Gründe für die hohen Mortalitätszahlen in der Periode von 1994. Als der erste und wahrscheinlich auch bedeutendste Grund sind die thermischen Mittel- und Extremwerte zu nennen, die die von 2006 noch übertrafen; hinzu kommt die Dauer, die 1994 anhaltender war. Neben dem Ausmaß der thermischen Last sollte aber auch die Akklimatisation der Bevölkerung nicht unberücksichtigt bleiben: Die Periode von 1994 lag relativ früh (22.07.-11.08.), und das Jahr war bis dahin verhältnismäßig kühl. Eine kurzfristige Anpassung an die thermischen Verhältnisse war demnach nicht gegeben, und selbst aus dem Vorjahr konnte keinerlei 'Erinnerung' mitgebracht werden – 1993 war das kühlste Jahr des gesamten Untersuchungszeitraumes! Zwar ist die Mortalitätsabweichung der ausgewählten Periode von 1993 nicht für den gesamten Verlauf des Sommers repräsentativ, aber es kann davon ausgegangen werden, dass Personen mit hoher Vulnerabilität gegenüber Hitze in diesem Sommer nicht zu Schaden kamen.

Andererseits gibt es neben der geringeren thermischen Last verschiedene Gründe, weshalb die Periode von 2006 eine nicht ganz so gravierende Mortalitätsabweichung aufwies. Sie lag gegenüber der von 1994 zwar noch früher im Jahr (10.07.-30.07.), ihr gingen aber schon einige warme bis heiße Tage voraus; kurzfristige Akklimatisation hatte deshalb schon stattgefunden, bzw. vulnerable Personen waren eventuell bereits verstorben. Als möglicher protektiver Faktor kann für diese Periode außerdem angeführt werden, dass die Alterssegregation schon fortgeschritten war und ein größerer Anteil der Senioren in weniger stark versiegelten Räumen des Untersuchungsgebietes wohnte. Nicht zuletzt war ein Jahr zuvor das Hitzewarnsystem des Deutschen Wetterdienstes etabliert worden und kam zum Einsatz.

5.2. Ausblick auf zukünftige Forschung

Die vorgelegte Beobachtungsstudie verschafft einen Überblick über die in Berlin-Brandenburg herrschenden Verhältnisse bezüglich der durch thermische Belastung induzierten Mortalität. Dabei bleiben jedoch Fragen offen, die in zukünftigen Untersuchungen beantwortet werden sollten.

Zunächst ist die Differenzierung der Mortalität hinsichtlich der Todesursachen von großem Interesse. Dabei finden nicht nur die jeweiligen Summen im gesamten Untersuchungsraum Berücksichtigung, sondern der Fokus sollte auch hier auf der räumlichen Verteilung des Auftretens liegen. In diesem Zusammenhang ist außerdem die Berücksichtigung weiterer atmosphärischer Aspekte wie die Konzentration von Feinstaub oder Ozon von Bedeutung. Da sie einen negativen Einfluss auf das Auftreten von Atemwegserkrankungen zeigen, sollten diese Elemente in die Untersuchungen nach Todesursachen mit einbezogen werden.

Weiterhin bedarf es Studien hinsichtlich der Morbidität: Da Krankheiten die Vorstufe zur Mortalität darstellen, bieten entsprechende Untersuchungen eine weitere Möglichkeit, bereits auf dieser Ebene durch die Entwicklung adäquater Interventionsmaßnahmen einen Anstieg der Mortalität während thermisch belasteter Perioden zu vermindern.

Auch methodisch kann das Thema in verschiedenen Richtungen weiter verfolgt werden. Da das Alter als Risikofaktor bereits belegt ist, erscheint es sinnvoll, die einzelnen Raumeinheiten nach dem Alter zu standardisieren; so können räumliche Unterschiede ohne den Einfluss der Altersstruktur in der Bevölkerung untersucht werden. Um eine solche Altersstandardisierung vornehmen zu können, müssen die Daten der Mortalität hinsichtlich des Alters auf kommunaler Ebene aber eine möglichst feine Aufteilung erfahren. Dazu ist allerdings eine Aggregation und dadurch ein Informationsverlust der Daten hinsichtlich der zeitlichen Auflösung vonnöten: Aus Gründen des Datenschutzes kann bei stärkerer Altersdifferenzierung eine taggenaue Angabe der Daten nicht mehr erfolgen, sondern sie werden dann auf beispielsweise drei Wochen aufsummiert. Ebenfalls von Interesse sind weitere Erkenntnisse hinsichtlich der Verortung der Mortalitätsfälle im Raum. Denkbar ist eine straßengenaue Zuordnung, die durch die Angabe der Wohn-Etage sowie der Gesamtetagenzahl noch ergänzt werden kann. Eine Realisierung dieses Informationsgewinns würde vermutlich wiederum zulasten der zeitlichen Auflösung fallen.

Zur Identifikation von Risikofaktoren sollten weitere Einfluss nehmende Größen in die Untersuchungen mit einbezogen werden. Neben dem Grad der Versiegelung und dem Anteil der über-65-Jährigen wären hier personenbezogene Daten von entscheidendem Informationsgehalt. Diese sollten sowohl das Wohnumfeld näher beschreiben als auch im Idealfall Angaben hinsichtlich des ethnischen Hintergrundes sowie der Dichte des sozialen Netzes liefern; auch Hinweise auf bereits bestehende, möglicherweise chronische Erkrankungen könnten hierzu gehören. Im Rahmen einer logistischen Regressionsanalyse kann dann von jeder Größe der Einfluss abgeschätzt sowie der erklärende Anteil ermittelt werden.

Diese Erkenntnisse sollten einerseits in Hitze-Informationssystemen Berücksichtigung finden. Interventionsmaßnahmen können so in der Prävention und im akuten Fall auch in der Betreuung in räumlicher Differenzierung auf bestimmte Risikogruppen abgestimmt werden.

Andererseits bildet das detaillierte Wissen um den Einfluss einzelner Risikofaktoren aber auch die Basis, um zukünftige Entwicklungen adäquat abschätzen zu können. Vorhandene Szenarien aus den Bereichen Urbanisierung und Bevölkerungsentwicklung, aber auch in Hinsicht auf den demographischen und nicht zuletzt den klimatischen Wandel können so mit entsprechender Gewichtung zueinander ins Verhältnis gesetzt werden.

Sowohl die heutigen Bedingungen als auch die Abschätzung zukünftiger Verhältnisse sollten Beachtung finden, wenn politische Entscheidungen zur Entwicklung und Gestaltung von Räumen getroffen werden. Neue Technologien sollten dabei ebenso Berücksichtigung finden wie kulturelle Anpassungsstrategien von Gebieten, die bereits heute über vergleichbare klimatische Bedingungen verfügen, wie sie dem Raum Berlin-Brandenburg bevorstehen. Insgesamt werden die Auswirkungen des Klimawandels enorme wirtschaftliche Kosten nach sich ziehen, wobei die Prävention weniger kostspielig sein wird als die Nachsorge [KEMFERT 2007].

6. Quellenverzeichnis

6.1. Daten

Meteorologische Daten

Deutscher Wetterdienst

Postfach 10 04 65

63004 Offenbach

www.dwd.de

Mortalitätsdaten

Statistisches Landesamt Berlin

Alt-Friedrichsfelde 60

10315 Berlin

www.statistik-berlin.de

Landesbetrieb für Datenverarbeitung und Statistik, Land Brandenburg

Postfach 60 10 52

14410 Potsdam

www.statistik.brandenburg.de

Seit 01. Januar 2007:

Amt für Statistik Berlin-Brandenburg

Dortustr. 46

14467 Potsdam

www.statistik-berlin-brandenburg.de

Daten des Landnutzung sowie der Bevölkerungsstruktur nach Alter und Geschlecht

Statistisches Jahrbuch Berlin 1993 bis 2007

Statistisches Jahrbuch Brandenburg 1994 bis 2007

6.2. Literatur

ALCOFORADO, M.-J. & ANDRADE, H. (2006): Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): main features and modelling attempts. *Theoretical and Applied Climatology* **84**, 151-159.

AULICIEMS, A. & FROST, D. B. & SISKIND, V. (1997): The time factor in mortality: weather associations in a subtropical environment. *International Journal of Biometeorology* **40**, 183-191.

BALLESTER, F. & CORELLA, D. & PEREZ-HOYOS, S. & SAEZ, M. & HERVAS, A. (1997): Mortality as a function of temperature. A study in Valencia, Spain, 1991-1993. *Int. J. Epidemiol.* **26**, 551-561.

BALLING JR., R. C. & CERVENY, R. S. (1987): Long-Term Associations between Wind Speeds and the Urban Heat Island of Phoenix, Arizona. *Journal of Applied Meteorology* **26**, 712-716.

BASU, R. & SAMET, J. M. (2002): Relation between Elevated Ambient Temperature and Mortality: A Review of the Epidemiologic Evidence. *Epidemiol Rev* **24**, 190-202.

- BECKER, P. (2005): Das Hitzewarnsystem des Deutschen Wetterdienstes. *Notfallvorsorge* **02/2005**, 22-23.
- BECKER, P. & BUCHER, K. & GRÄTZ, A. & KOPPE, C. & LASCHEWSKI, G. (2007): Das Medizin-Meteorologische Informationsangebot für den Gesundheitssektor und die Öffentlichkeitsarbeit. *promet* **33**, 140-147.
- BERLINER WETTERKARTE E.V. (Ed., 2003): *Berliner Wetterkarte*. Nr. 137 – 158, Berlin: Freie Universität
- BERLINER WETTERKARTE E.V. (Ed., 2006): *Berliner Wetterkarte*. Nr. 132 – 147, Berlin: Freie Universität
- BORRELL, C. & MARÍ-DELL'OLMO, M. & RODRÍGUEZ-SANZ, M. & GARCIA-OLALLA, P. & CAYLÁ, J. A. & BENACH, J. & MUNTANER, C. (2006): Socioeconomic position and excess mortality during the heat wave of 2003 in Barcelona. *European Journal of Epidemiology* **21**, 633-640.
- BROCKHAUS-ENZYKLOPÄDIE (1989): *Der große Brockhaus, Bd. 10, Herr – Is*. Mannheim: Brockhaus
- BUECHLEY, R. W. & VAN BRUGGEN, J. & TRUPPI, L. E. (1972): Heat Island = Death Island? *Environmental Research* **5**, 85-92.
- CERUTTI, B. & TEREANU, C. & DOMENIGHETTI, G. & CANTONI, E. & GAIA, M. & BOLGIANI, I. & LAZZARO, M. & CASSIS, I. (2006): Temperature related mortality and ambulance service interventions during the heat waves of 2003 in Ticino. *Soz Präventiv Med* **51**, 185-193.
- CHRISTENSEN, J. H. & HEWITSON, B. & BUSUIOC, A. & CHEN, A. & GAO, X. & HELD, I. & JONES, R. & KOLLI, R. K. & KWON, W.-T. & LAPRISE, R. & MAGAÑA RUEDA, V. & MEARNES, L. & MENÉDEZ, C. G. & RÄISÄNEN, J. & RINKE, A. & SARR, A. & WHETTON, P. (2007): Regional Climate Projections. In S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, & H. L. Miller (Eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis* (pp. 847-940). Cambridge (UK), New York (NY, USA): Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- CONTI, S. & MELI, P. & MINELLI, G. & SOLIMINI, R. & TOCCACELI, V. & VICHI, M. & BELTRANO, C. & PERINI, L. (2005): Epidemiologic study of mortality during the Summer 2003 heat wave in Italy. *Environmental Research* **98**, 390-399.
- CURRIERO, F. C. & HEINER, K. S. & SAMET, J. M. & AL., E. (2002): Temperature and Mortality in 11 Cities of the Eastern United States *Amer J Epidemiol* **155**, 80-87.
- DAVIS, R. E. & KNAPPENBERGER, P. C. & MICHAELS, P. J. & NOVICOFF, W. M. (2003a): Changing Heat-Related Mortality in the United States. *Environmental Health Perspectives* **111**, 1712-1718.
- DAVIS, R. E. & KNAPPENBERGER, P. C. & NOVICOFF, W. M. & MICHAELS, P. J. (2002): Decadal changes in heat-related human mortality in the eastern United States. *Climate Research* **22**, 175-184.
- DAVIS, R. E. & KNAPPENBERGER, P. C. & NOVICOFF, W. M. & MICHAELS, P. J. (2003b): Decadal changes in summer mortality in U.S. cities. *International Journal of Biometeorology* **47**, 166-175.
- DESSAI, S. (2002): Heat stress and mortality in Lisbon Part I. Model construction and validation *International Journal of Biometeorology* **47**, 6-12.

- DEUTSCHER WETTERDIENST (Ed., 1993a): Juli 1993. *Monatlicher Witterungsbericht* **41**, 33 p.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (Ed., 1993b): August 1993. *Monatlicher Witterungsbericht* **41**, 33 p.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (Ed., 1993c): *Wetterkarte. Amtsblatt des Deutschen Wetterdienstes*. Nr. 209 – 230, Offenbach am Main: Deutscher Wetterdienst
- DEUTSCHER WETTERDIENST (Ed., 1994a): Juli 1994. *Monatlicher Witterungsbericht* **42**, 34 p.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (Ed., 1994b): August 1994. – *Monatlicher Witterungsbericht* **42**, 33 p.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (Ed., 1994c): *Wetterkarte. Amtsblatt des Deutschen Wetterdienstes*. Nr. 203 – 224, Offenbach am Main: Deutscher Wetterdienst
- DEUTSCHER WETTERDIENST (Ed., 1997a): August 1997. – *Monatlicher Witterungsbericht* **45**, 33 p.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (Ed., 1997b): *Wetterkarte. Amtsblatt des Deutschen Wetterdienstes*. Nr. 221 – 241, Offenbach am Main: Deutscher Wetterdienst
- DEUTSCHER WETTERDIENST (Ed., 2003a): Juli 2003. – *Witterungsreport express* **5**, 27 p.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (Ed., 2003b): August 2003. – *Witterungsreport express* **5**, 27 p.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (Ed., 2006): Juli 2006. – *Witterungsreport express* **8**, 27 p.
- DÍAZ, J. & GARCÍA, R. & VELÁZQUEZ DE CASTRO, F. & HERNÁNDEZ, E. & LÓPEZ, C. & OTERO, A. (2002a): Effects of extremely hot days on people older than 65 years in Seville (Spain) from 1986 to 1997. *International Journal of Biometeorology* **46**, 145-149.
- DÍAZ, J. & GARCÍA-HERRERA, R. & TRIGO, R. M. & LINARES, C. & VALENTE, M. A. & DE MIGUEL, J. M. & HERNÁNDEZ, E. (2006a): The impact of the summer 2003 heat wave in Iberia: how should we measure it? *International Journal of Biometeorology* **50**, 159-166.
- DÍAZ, J. & JORDÁN, A. & GARCÍA, R. & LÓPEZ, C. & ALBERDI, J. C. & HERNÁNDEZ, E. & OTERO, A. (2002b): Heat waves in Madrid 1986 - 1997: effects on the health of the elderly. *Int Arch Occup Environ Health* **75**, 163-170.
- DÍAZ, J. & LINARES, C. & TOBIÁS, A. (2006b): Impact of extreme temperatures on daily mortality in Madrid (Spain) among 45-64 age-group. *International Journal of Biometeorology* **50**, 342-348.
- ENDLICHER, W. & MÜLLER, M. & GABRIEL, K. (2008): Climate Change and the Function of Urban Green for Human Health. *BfN-Skripten* **179**, 119-127.
- FEZER, F. (1995): *Das Klima der Städte*. Gotha: Perthes.
- FIGUEROLA, P. I. & MAZZEO, N. A. (1998): Urban-rural temperature differences in Buenos Aires. *International Journal of Climatology* **18**, 1709.
- FILLEUL, L. & CASADOU, S. & MÉDINA, S. & FABRES, P. & LEFRANC, A. & EILSTEIN, D. & LE TERTRE, A. & PASCAL, L. & CHARDON, B. & BLANCHARD, M. & DECLERCQ, C. & JUSOT, J.-F. & PROUVOST, H. & LEDRANS, M. (2006): The Relation Between Temperature, Ozone, and Mortality in nine French Cities during the Heat Wave of 2003. *Environmental Health Perspectives* **114**, 1344-1347.
- FOUILLET, A. & REY, G. & LAURENT, F. & PAVILLON, G. & BELLEC, S. & GUIHENNEUC-JOUYAUX, C. & CLAVEL, J. & JOUGLA, E. & HÉMON, D. (2006): Excess mortality related to the August 2003 heat wave in France. *International Archives of Occupational and Environmental Health* **80**, 16-24.

- FOUILLET, A. & REY, G. & WAGNER, V. & LAAIDI, K. & EMPEREUR-BISSONNET, P. & LE TERTRE, A. & FRAYSSINET, P. & BESSEMOULIN, P. & LAURENT, F. & DE CROUY-CHANEL, P. & JOUGLA, E. & HEMON, D. (2008): Has the impact of heat waves on mortality changed in France since the European heat wave of summer 2003? A study of the 2006 heat wave. *International Journal of Epidemiology* **37**, 309-317.
- FÜSSEL, H.-M. & KLEIN, R. J. T. & EBI, K. L. (2006): Adaption Assessment for Public Health. In B. Menne, & K. L. Ebi (Eds.), *Climate Change and Adaption Strategies for Human Health* (pp. 41-62). Darmstadt: Steinkopff.
- GARSEN, J. & HARMSSEN, C. & DE BEER, J. (2005): The effect of the summer 2003 heat wave on Mortality in the Netherlands. *Eurosurveillance* **10**, 165-167.
- GEMMELL, I. & MCLOONE, P. & BODDY, F. A. & DICKINSON, G. J. & WATT, G. C. M. (2000): Seasonal variation in mortality in Scotland. *Int. J. Epidemiol.* **29**, 274-279.
- GOSLING, S. N. & LOWE, J. A. & MCGREGOR, G. R. & PELLING, M. & MALAMUD, B. D. (2009): Associations between elevated atmospheric temperature and human mortality: a critical review of the literature. *Climatic Change* **92**, 299-341.
- GOSLING, S. N. & MCGREGOR, G. R. & PÁLDY, A. (2007): Climate change and heat-related mortality in six cities. Part 1: Model construction and validation. *International Journal of Biometeorology* **51**, 525-540.
- GOUVEIA, N. & HAJAT, S. & ARMSTRONG, B. (2003): Socioeconomic differentials in the temperature-mortality relationship in Sao Paulo, Brazil. *Int. J. Epidemiol.* **32**, 390-397.
- GRÄF, D. (2002): Spezielle Fragen zum Klima- und Wettereinfluss: Witterung und Sterbegeschehen in Berlin (1986/1995). In H.-J. Moriske, & E. Turowski (Eds.), *Handbuch für Bioklima und Lufthygiene* (pp. 35-44). Landsberg am Lech: ecomed.
- GRASS, D. & CANE, M. (2007): The effects of weather and air pollution on cardiovascular and respiratory mortality in Santiago, Chile, during the winters of 1988-1996. *International Journal of Climatology*, 14 p.
- GRIZE, L. & HUSS, A. & THOMMEN, O. & SCHINDLER, C. & BRAUN-FAHRLÄNDER, C. (2005): Heat wave 2003 and mortality in Switzerland. *Swiss Medical Weekly* **135**, 200-205.
- GROBER, J. (1943): *Die Akklimatisation der Europäer in Afrika*. Afrika, Handbuch der praktischen Kolonialwissenschaften. Berlin: de Gruyter.
- GRYNSZPAN, D. (2003): Lessons from the French heatwave. *The Lancet* **362**, 1169-1170.
- HAASE, C. & TUROWSKI, E. (1987): Untersuchungen zur Klima- und Wetterabhängigkeit in verschiedenen Landschaftsklimaten. Berlin: Humboldt-Universität zu Berlin.
- HAJAT, S. & ARMSTRONG, B. & BACCINI, M. & BIGGERI, A. & BISANTI, L. & RUSSO, A. & PÁLDY, A. & MENNE, B. & KOSATSKY, T. (2006): Impact of High Temperatures on Mortality. Is There an Added Heat Wave Effect? *Epidemiology* **17**, 632-638.
- HAJAT, S. & KOVATS, R. S. & ATKINSON, R. W. & HAINES, A. (2002): Impact of hot temperatures on death in London: a time series approach. *J Epidemiol Community Health* **56**, 367-372.
- HARTGE, K. H. & HORN, R. (1999): *Einführung in die Bodenphysik* (3 ed.). Stuttgart: Ferdinand Enke.
- HENSCHER, A. & BURTON, L. L. & MARGOLIES, L. & SMITH, J. E. (1969): An analysis of the heat deaths in St. Louis during July, 1966. *American Journal of Public Health and the Nation's Health* **59**, 2232-2242.

- HEUDORF, U. & MEYER, C. (2005): Gesundheitliche Auswirkungen extremer Hitze - am Beispiel der Hitzewelle und der Mortalität in Frankfurt am Main im August 2003. *Gesundheitswesen* **67**, 369-374.
- HUYNEN, M. M. T. E. & MARTENS, P. & SCHRAM, D. & WEIJENBERG, M. P. & KUNST, A. E. (2001): The Impact of Heat Waves and Cold Spells on Mortality Rates in the Dutch Population. *Environmental Health Perspectives* **109**, 463-470.
- ISHIGAMI, A. & HAJAT, S. & KOVATS, R. S. & BISANTI, L. & ROGNONI, M. & RUSSO, A. & PALDY, A. (2008): An ecological time-series study of heat-related mortality in three European cities. *Environmental Health* **7**, 7 p.
- JENDRITZKY, G. & KOPPE, C. (2008): Die Auswirkungen von thermischen Belastungen auf die Mortalität. In J. L. Lozán, H. Graßl, G. Jendritzky, L. Karbe, & K. Reise (Eds.), *Warnsignal Klima. Gesundheitsrisiken. Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen* (pp. 149-153). Hamburg: Wissenschaftliche Auswertungen.
- JENDRITZKY, G. & MENZ, G. & SCHMIDT-KESSEN, W. & SCHIRMER, H. (1990): Methodik zur räumlichen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen. Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell. *Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL)* **114**, 80 p.
- JOHNSON, H. & KOVATS, R. S. & MCGREGOR, G. R. & STEDMAN, J. & GIBBS, M. & WALTON, H. (2005): The impact of the 2003 heatwave on daily mortality in England and Wales and the use of rapid weekly mortality estimates. *European Surveillance* **10**, 168-171.
- JONES, T. S. & LIANG, A. P. & KILBOURNE, E. M. & GRIFFIN, M. R. & PATRIARCA, P. A. & WASSILAK, S. G. F. & MULLAN, R. J. & HERRICK, R. F. & DONNELL JR, H. D. & CHOI, K. & THACKER, S. B. (1982): Morbidity and mortality associated with the July 1980 heat wave in St Louis and Kansas City, Mo. *The Journal of the American Medical Association* **247**, 3327-3331.
- KATSOULIS, B. D. & THEOHARATOS, G. A. (1985): Indications of the Urban Heat Island in Athens, Greece. *Journal of Climate and Applied Meteorology* **24**, 1296-1302.
- KEATINGE, W. R. & DONALDSON, G. C. & CORDIOLI, E. & MARTINELLI, M. & KUNST, A. E. & MACKENBACH, J. P. & NAYHA, S. & VUORI, I. (2000): Heat related mortality in warm and cold regions of Europe: observational study. *British Medical Journal* **321**, 670-673.
- KEMFERT, C. (2007): Klimawandel kostet die deutsche Volkswirtschaft Milliarden. *Wochenbericht des DIW Berlin* **74**, 165
- KIM, Y.-H. & BAIK, J.-J. (2002): Maximum Urban Heat Island Intensity in Seoul. *Journal of Applied Meteorology* **41**, 651-659.
- KŁYSIK, K. & FORTUNIAK, K. (1999): Temporal and spatial characteristics of the urban heat island of Łódź, Poland. *Atmospheric Environment* **33**, 3885-3895.
- KOPPE, C. (2005): Gesundheitsrelevante Bewertung von thermischer Belastung unter Berücksichtigung der kurzfristigen Anpassung der Bevölkerung an die lokalen Witterungsverhältnisse, *Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften* (pp. 208). Freiburg i. Br.: Albert-Ludwigs-Universität.
- KOPPE, C. & JENDRITZKY, G. & PFAFF, G. (2004): Die Auswirkungen der Hitzewelle 2003 auf die Gesundheit. In D. Wetterdienst (Ed.), *Klimastatusbericht 2003* (pp. 152-162). Offenbach: Deutscher Wetterdienst.
- KOVATS, R. S. & HAJAT, S. & WILKINSON, P. (2004): Contrasting patterns of mortality and hospital admissions during hot weather and heat waves in Greater London, UK. *Occup Environ Med* **61**, 893-898.

- KUNST, A. E. & LOOMAN, C. W. N. & MACKENBACH, J. P. (1993): Outdoor Air Temperature and Mortality in the Netherlands: A Time-Series Analysis. *Am. J. Epidemiol.* **137**, 331-341.
- KUTTLER, W. (1998): Stadtklima. In H. Sukopp, & R. Wittig (Eds.), *Stadtökologie* (pp. 125-167). Stuttgart: Gustav Fischer.
- KYSELÝ, J. (2004): Mortality and displaced mortality during heat waves in the Czech Republic. *International Journal of Biometeorology* **49**, 91-97.
- KYSELÝ, J. & HUTH, R. (2004): Heat-related mortality in the Czech Republic examined through synoptic and 'traditional' approaches. *Climate Research* **25**, 265-274.
- KYSELÝ, J. & KALVOVÁ, J. & KVETON, V. (2000): Heat waves in the south Moravian region during the period 1961 - 1995. *Studia geoph. et geod.* **44**, 57-72.
- LAAIDI, M. & LAAIDI, K. & BESANCENOT, J.-P. (2006): Temperature-related mortality in France, a comparison between regions with different climates from the perspective of global warming. *International Journal of Biometeorology* **51**, 145-153.
- LANDESBETRIEB FÜR DATENVERARBEITUNG UND STATISTIK, LAND BRANDENBURG (Ed., 2006): Sterbefälle nach Todesursachen einschließlich vorsätzlicher Selbstbeschädigung im Land Brandenburg 2005. *Statistische Berichte A IV 3 – j/05, A IV 10 – j/05* (pp. 34). Potsdam: Landesbetrieb für Datenverarbeitung und Statistik
- LASCHEWSKI, G. & JENDRITZKY, G. (2002): Effects of the thermal environment on human health: an investigation of 30 years of daily mortality data from SW Germany. *Climate Research* **21**, 91-103.
- LERCHL, A. (1998): Changes in the seasonality of mortality in Germany from 1946 to 1995: the role of temperature. *International Journal of Biometeorology* **42**, 84-88.
- MARTINE, G. (2007): Unleashing the Potential of Urban Growth. In A. Marshall (Ed.), *The State of World Population* (pp. 99). New York: United Nations Population Fund.
- MASTRANGELO, G. & FEDELI, U. & VISENTIN, C. & MILAN, G. & FADDA, E. & SPOLAORE, P. (2007): Pattern and determinants of hospitalization during heat waves: an ecological study. *BMC Public Health* **7**, 8 p.
- MAYER, H. & MATZARAKIS, A. (2006): Impact of street trees on the thermal comfort of people in summer: a case study in Freiburg (Germany). *Merchavim* **6**, 285-300.
- MEDINA-RAMÓN, M. & ZANOBETTI, A. & CAVANAGH, D. P. & SCHWARTZ, J. (2006): Extreme Temperatures and Mortality: Assessing Effect Modification by Personal Characteristics and Specific Cause of Death in a Multi-City Case-Only Analysis. *Environmental Health Perspectives* **114**, 1331-1336.
- MEEHL, G. A. & STOCKER, T. F. & COLLINS, W. D. & FRIEDLINGSTEIN, P. & GAYE, A. T. & GREGORY, J. M. & KITOH, A. & KNUTTI, R. & MURPHY, J. M. & NODA, A. & RAPER, S. C. B. & WATTERSON, I. G. & WEAVER, A. J. & ZHAO, Z.-C. (2007): Global Climate Projections. In S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, & H. L. Miller (Eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 747-845). Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- MICHELOZZI, P. & PERUCCI, C. A. & FORASTIERE, F. & FUSCO, D. & ANCONA, C. & DELL'ORCO, V. (1999): Inequality in health: socioeconomic differentials in mortality in Rome, 1990-95. *J. Epidemiol. Community Health*, 687-693.
- MONTÁVEZ, J. P. & RODRÍGUEZ, A. & JIMÉNEZ, J. I. (2000): A study of the urban heat island of Granada. *International Journal of Climatology* **20**, 899-911.

- MÜLLER, M. (2005): Humanbioklimatologische Untersuchungen im Vergleich Berlin und Umland, *Geographisches Institut* (pp. 144). Berlin: Humboldt-Universität zu Berlin.
- NITSCHKE, M. & TUCKER, G. R. & BI, P. (2007): Morbidity and mortality during heatwaves in metropolitan Adelaide. *Medical Journal of Australia* **187**, 662-665.
- OKE, T. R. (1973): City size and the Urban Heat Island. *Atmospheric Environment* **3**, 769-779.
- OKE, T. R. (1982): The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* **108**, 1-24.
- O'NEILL, M. S. & ZANOBBETTI, A. & SCHWARTZ, J. (2005): Disparities by race in heat-related mortality in four US cities: The role of airconditioning prevalence. *Journal of Urban Health* **82**, 191-197.
- PALECKI, M. A. & CHANGNON, S. A. & KUNKEL, K. E. (2001): The Nature and Impacts of the July 1999 Heat Wave in the Midwestern United States: Learning from the Lessons of 1995. *Bulletin of the American Meteorological Society* **82**, 1353-1367.
- PFAFF, G. (2003): Rettungsdiensteinsätze wegen Hitzefolgen - Ein Bericht aus Baden-Württemberg. *Epidemiologisches Bulletin* **35**, 280-281.
- REY, G. & JOUGLA, E. & FOUILLET, A. & PAVILLON, G. & BESSEMOULIN, P. & FRAYSSINET, P. & CLAVEL, J. & HÉMON, D. (2007): The impact of major heat waves on all-cause and cause-specific mortality in France from 1971 to 2003. *International Archives of Occupational and Environmental Health* **80**, 615-626.
- ROBINE, J. M. & CHEUNG, S. L. & LE ROY, S. & VAN OYEN, H. & HERRMANN, F. R. (2007): Report on excess mortality in Europe during summer 2003. In G. A. EU Community Action Programme for Public Health (Ed.) (pp. 13).
- ROGOT, E. & PADGET, S., J. (1976): Associations of coronary and stroke mortality with temperature and snowfall in selected areas of the United States, 1962-1966. *American Journal of Epidemiology* **103**, 565-575.
- SAEZ, M. & SUNYER, J. & CASTELLSAGUÉ, J. & MURILLO, C. & ANTÓ, J. M. (1995): Relationship between Weather Temperature and Mortality: A Time Series Analysis Approach in Barcelona. *Int. J. Epidemiol.* **24**, 576-582.
- SAITOH, T. S. & SHIMADA, T. & HOSHI, H. (1996): Modeling and Simulation of the Tokyo Urban Heat Island. *Atmospheric Environment* **30**, 3431-3442.
- SARTOR, F. & DEMUTH, C. & SNACKEN, R. & WALCKIERS, D. (1997): Mortality in the Elderly and Ambient Ozone Concentration during the Hot Summer, 1994, in Belgium. *Environmental Research* **72**, 109-117.
- SARTOR, F. & SNACKEN, R. & DEMUTH, C. & WALCKIERS, D. (1995): Temperature, Ambient Ozone Levels, and Mortality during Summer, 1994, in Belgium. *Environmental Research* **70**, 105-113.
- SCHARLAU, K. (1941): Schwüle und Behaglichkeit als Klimagrößen. *Medical Microbiology and Immunology* **123**, 511-530.
- SCHERBER, K. (2008): Hitzewellen in Berlin und Auswirkungen auf Herz-Kreislauf- und Atmungssystemerkrankungen, *Geographisches Institut* (pp. 76). Berlin: Humboldt-Universität zu Berlin.
- SCHLITTEGEN, R. & STREITBERG, B. H. J. (2001): *Zeitreihenanalyse*. Lehr- und Handbücher der Statistik (9 ed.). München, Wien: R. Oldenbourg.

- SCHUMAN, S. H. (1972): Patterns of urban heat-wave deaths and implications for prevention: data from New York and St. Louis during July, 1966. *Environmental Research* **5**, 59-75.
- SEMENZA, J. C. & McCULLOUGH, J. E. & FLANDERS, W. D. & MCGEEHIN, M. A. & LUMPKIN, J. R. (1999): Excess hospital admissions during the July 1995 heat wave in Chicago. *American Journal of Preventive Medicine* **16**, 269-277.
- SEMENZA, J. C. & RUBIN, C. H. & FALTER, K. H. & SELANIKIO, J. D. & FLANDERS, W. D. & HOWE, H. L. & WILHELM, J. L. (1996): Heat-Related Deaths during the July 1995 Heat Wave in Chicago. *N Engl J Med* **335**, 84-90.
- SHERIDAN, S. C. (2002): Heat-related mortality: a rural problem too. *International Journal of Biometeorology* **83**, 1466-1467.
- SHERIDAN, S. C. & DOLNEY, T. J. (2003): Heat, mortality, and level of urbanization: measuring vulnerability across Ohio, USA. *Climate Research* **24**, 255-265.
- SMOYER, K. E. (1998a): A comparative analysis of heat waves and associated mortality in St. Louis, Missouri - 1980 and 1995. *International Journal of Biometeorology* **42**, 44-50.
- SMOYER, K. E. (1998b): Putting risk in its place: Methodological considerations for investigating extreme event health risk. *Social Science & Medicine* **47**, 1809-1824.
- SMOYER, K. E. & RAINHAM, D. G. C. & HEWKO, J. N. (2000): Heat-stress-related mortality in five cities in Southern Ontario: 1980 - 1996. *International Journal of Biometeorology* **44**, 190-197.
- SMOYER-TOMIC, K. E. & KUHN, R. & HUDSON, A. (2003): Heat Wave Hazards: An Overview of Heat Wave Impacts in Canada. *Natural Hazards* **28**, 463-485.
- STAIGER, H. & BUCHER, K. & JENDRITZKY, G. (1997): Gefühlte Temperatur. Die physiologisch gerechte Bewertung von Wärmebelastung und Kältestreß beim Aufenthalt im Freien mit der Meßzahl Grad Celsius. *Annalen der Meteorologie* **33**, 100-107.
- STÉPHAN, F. & GHIGLIONE, S. & DECAILLIOT, F. & YAKHOU, L. & DUVALDESTIN, P. & LEGRAND, P. (2005): Effect of excessive environmental heat on core temperature in critically ill patients. An observational study during the 2003 European heat wave. *Br. J. Anaesth.* **94**, 39-45.
- STOCK, M. & TÓTH, F. (1996): Mögliche Auswirkungen von Klimaänderungen auf das Land Brandenburg (pp. 166). Berlin: ProduServ.
- TAN, J. & ZHENG, Y. & SONG, G. & KALKSTEIN, L. S. & KALKSTEIN, A. J. & TANG, X. (2007): Heat wave impacts on mortality in Shanghai, 1998 and 2003. *International Journal of Biometeorology* **51**, 193-200.
- TINZ, B. & FREYDANK, E. & HUPFER, P. (2008): Hitzeepisoden in Deutschland im 20. und 21. Jahrhundert. In J. L. Lozán, H. Graßl, G. Jendritzky, L. Karbe, & K. Reise (Eds.), *Warnsignal Klima. Gesundheitsrisiken. Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen* (pp. 141-148). Hamburg: Wissenschaftliche Auswertungen.
- TRENKLE, H. (1992): *Klima und Krankheit*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- VON WICHERT, P. (2004): Bericht zu einer Stellungnahme der Kommission "Hitzetote" der Arbeitsgemeinschaft der wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaft (AWMF). *Epidemiologisches Bulletin* **24/2004**, 189-196.
- VON WICHERT, P. (2008): Klimatische Hitzewellen und deren Konsequenzen für die gesundheitliche Betreuung vorgeschädigter Personen. *Medizinische Klinik* **103**, 75-79.

- WEISSKOPF, M. G. & ANDERSON, H. A. & FOLDY, S. & HANRAHAN, L. P. & BLAIR, K. & TÖRÖK, T. J. & RUMM, P. D. (2002): Heat Wave Morbidity and Mortality, Milwaukee, Wis, 1999 vs 1995: An Improved Response? *Am J Public Health* **92**, 830-833.
- WHITMAN, S. & GOOD, G. & DONOGHUE, E. R. & BENBOW, N. & SHOU, W. & MOU, S. (1997): Mortality in Chicago attributed to the July 1995 heat wave. *Am J Public Health* **87**, 1515-1518.
- ZEBISCH, M. & GROTHMANN, T. & SCHRÖTER, D. & HABE, C. & FRITSCH, U. & CRAMER, W. (2005): Klimawandel in Deutschland. Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme (Kurzfassung) (pp. 12): Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, i.A. des UBA.

6.3. Internet

www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas
Homepage der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung von Berlin,
Digitaler Umweltatlas Berlin (Stand: 08/2009)

7. Anhang

- Anhang 1: Diagramme und Tabellen zur Hitzebestimmung
- Anhang 2: Wetterlagen
- Anhang 3: Überschreitungshäufigkeit thermischer Grenzwerte
- Anhang 4: Abweichung der Mortalität vom Erwartungswert auf kommunaler Ebene

A1. Diagramme und Tabellen zur Hitzebestimmung

A1.1. 95er Perzentil

A1.1.1 Ermittlung des Grenzwertes mithilfe des 95er Perzentils

Tab. A1-01: 95er Perzentil der Werte T_{\max} und T_{\min} an der Station Neuruppin für die Jahre 1990 - 2006, ermittelt aus der jeweils vorangegangenen Dekade.

Jahr	Datengrundlage	T_{\max}	T_{\min}	$n(T_{\max} \geq P95(T_{\max}))$	$n(T_{\min} \geq P95(T_{\min}))$
1990	1980-1989	26,4	15,2	19	17
1991	1981-1990	26,6	15,2	18	21
1992	1982-1991	26,8	15,2	28	30
1993	1983-1992	26,7	15,2	5	6
1994	1984-1993	26,3	15,1	32	32
1995	1985-1994	26,6	15,3	34	30
1996	1986-1995	27,0	15,6	12	12
1997	1987-1996	26,8	15,5	24	38
1998	1988-1997	27,1	15,7	14	12
1999	1989-1998	27,1	15,7	25	20
2000	1990-1999	27,2	15,7	18	12
2001	1991-2000	27,3	15,7	16	22
2002	1992-2001	27,3	15,7	18	37
2003	1993-2002	27,1	15,9	34	24
2004	1994-2003	27,6	16,0	10	10
2005	1995-2004	27,3	15,9	16	11
2006	1996-2005	27,2	15,8	28	34
				351	368

Tab. A1-02: 95er Perzentil der Werte T_{\max} und T_{\min} an der Station Angermünde für die Jahre 1990 - 2006, ermittelt aus der jeweils vorangegangenen Dekade.

Jahr	Datengrundlage	T_{\max}	T_{\min}	$n(T_{\max} \geq P95(T_{\max}))$	$n(T_{\min} \geq P95(T_{\min}))$
1990	1980-1989	26,8	14,6	18	14
1991	1981-1990	27,0	14,6	18	18
1992	1982-1991	27,0	14,6	32	36
1993	1983-1992	27,0	14,6	16	4
1994	1984-1993	26,7	14,6	34	31
1995	1985-1994	27,1	14,6	28	27
1996	1986-1995	27,2	14,8	13	14
1997	1987-1996	27,2	14,8	19	31
1998	1988-1997	27,5	14,8	11	16
1999	1989-1998	27,4	14,8	28	21
2000	1990-1999	27,6	14,8	16	19
2001	1991-2000	27,7	14,9	16	19
2002	1992-2001	27,7	15,0	22	28
2003	1993-2002	27,7	15,0	24	23
2004	1994-2003	27,9	15,1	9	7
2005	1995-2004	27,6	15,0	16	12
2006	1996-2005	27,4	14,9	35	37
				355	357

Anhang 1– Diagramme und Tabellen zur Hitzebestimmung

Tab. A1-03: 95er Perzentil der Werte T_{\max} und T_{\min} an der Station Berlin-Dahlem für die Jahre 1990 - 2006, ermittelt aus der jeweils vorangegangenen Dekade.

Jahr	Datengrundlage	T_{\max}	T_{\min}	$n(T_{\max} \geq P95(T_{\max}))$	$n(T_{\min} \geq P95(T_{\min}))$
1990	1980-1989	27,0	15,1	20	20
1991	1981-1990	27,2	15,3	19	23
1992	1982-1991	27,3	15,3	33	30
1993	1983-1992	27,3	15,3	12	10
1994	1984-1993	27,2	15,1	31	35
1995	1985-1994	27,5	15,3	33	31
1996	1986-1995	27,7	15,6	16	9
1997	1987-1996	27,7	15,6	24	32
1998	1988-1997	28,0	15,8	15	13
1999	1989-1998	28,1	15,8	28	16
2000	1990-1999	28,2	15,8	19	9
2001	1991-2000	28,3	15,8	18	16
2002	1992-2001	28,5	15,7	18	29
2003	1993-2002	28,3	15,8	36	25
2004	1994-2003	28,7	16,0	12	13
2005	1995-2004	28,6	15,7	14	13
2006	1996-2005	28,4	15,6	31	28
				379	352

Tab. A1-04: 95er Perzentil der Werte T_{\max} und T_{\min} an der Station Berlin-Tempelhof für die Jahre 1990 - 2006, ermittelt aus der jeweils vorangegangenen Dekade.

Jahr	Datengrundlage	T_{\max}	T_{\min}	$n(T_{\max} \geq P95(T_{\max}))$	$n(T_{\min} \geq P95(T_{\min}))$
1990	1980-1989	27,1	16,1	18	19
1991	1981-1990	27,5	16,2	17	25
1992	1982-1991	27,5	16,4	32	34
1993	1983-1992	27,5	16,4	9	7
1994	1984-1993	27,1	16,3	32	34
1995	1985-1994	27,5	16,5	33	31
1996	1986-1995	27,8	16,7	13	7
1997	1987-1996	27,6	16,6	23	24
1998	1988-1997	27,9	16,7	15	10
1999	1989-1998	28,0	16,7	27	18
2000	1990-1999	28,2	16,7	16	9
2001	1991-2000	28,3	16,6	18	17
2002	1992-2001	28,4	16,6	18	23
2003	1993-2002	28,3	16,6	38	26
2004	1994-2003	28,8	16,7	11	13
2005	1995-2004	28,6	16,6	14	12
2006	1996-2005	28,4	16,4	33	35
				367	344

Anhang 1– Diagramme und Tabellen zur Hitzebestimmung

Tab. A1-05: 95er Perzentil der Werte T_{\max} und T_{\min} an der Station Wittenberg für die Jahre 1990 - 2006, ermittelt aus der jeweils vorangegangenen Dekade.

Jahr	Datengrundlage	T_{\max}	T_{\min}	$n(T_{\max} \geq P95(T_{\max}))$	$n(T_{\min} \geq P95(T_{\min}))$
1990	1980-1989	27,7	15,3	17	16
1991	1981-1990	28,0	15,3	24	27
1992	1982-1991	28,2	15,3	30	35
1993	1983-1992	28,2	15,5	9	9
1994	1984-1993	27,8	15,1	32	38
1995	1985-1994	28,2	15,5	34	29
1996	1986-1995	28,6	15,8	12	9
1997	1987-1996	28,5	15,6	22	27
1998	1988-1997	28,7	15,8	14	14
1999	1989-1998	28,7	15,8	25	17
2000	1990-1999	28,8	15,8	15	14
2001	1991-2000	28,9	15,8	18	22
2002	1992-2001	28,9	15,8	19	23
2003	1993-2002	28,8	15,8	40	25
2004	1994-2003	29,4	16,0	12	12
2005	1995-2004	29,1	15,8	16	13
2006	1996-2005	29,0	15,7	27	34
				366	329

Tab. A1-06: 95er Perzentil der Werte T_{\max} und T_{\min} an der Station Cottbus für die Jahre 1990 - 2006, ermittelt aus der jeweils vorangegangenen Dekade.

Jahr	Datengrundlage	T_{\max}	T_{\min}	$n(T_{\max} \geq P95(T_{\max}))$	$n(T_{\min} \geq P95(T_{\min}))$
1990	1980-1989	28,2	15,5	21	13
1991	1981-1990	28,3	15,5	20	27
1992	1982-1991	28,5	15,6	31	30
1993	1983-1992	28,6	15,6	7	8
1994	1984-1993	28,2	15,3	33	32
1995	1985-1994	28,5	15,6	29	23
1996	1986-1995	28,7	15,8	13	11
1997	1987-1996	28,6	15,6	17	25
1998	1988-1997	28,7	15,8	16	17
1999	1989-1998	28,7	15,8	20	20
2000	1990-1999	28,8	15,8	20	18
2001	1991-2000	28,8	16,0	17	13
2002	1992-2001	28,9	15,8	17	25
2003	1993-2002	28,7	15,8	37	21
2004	1994-2003	29,1	15,9	13	14
2005	1995-2004	28,9	15,8	15	19
2006	1996-2005	28,7	15,8	36	37
				362	353

A1.1.2 Verteilung der Überschreitungen

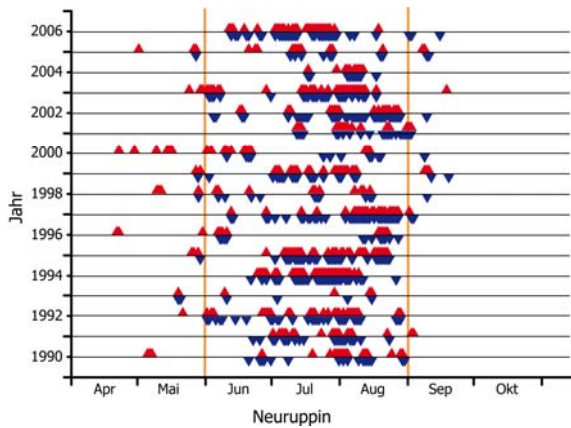


Abb. A1.01: Tage pro Jahr, an denen das 95er Perzentil der Maximum- (▲) bzw. der Minimumtemperatur (▼) an der Station Neuruppin überschritten wurde.

[Darstellung: K. Gabriel]

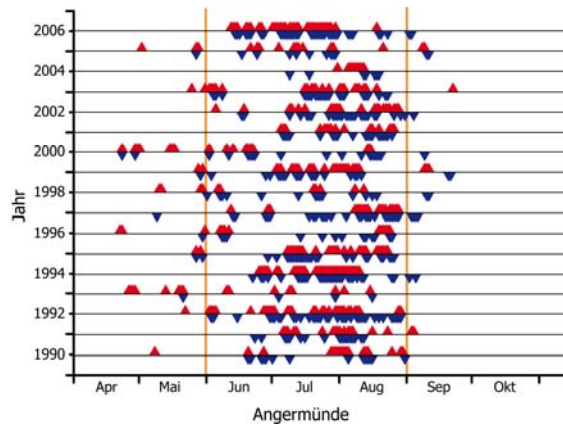


Abb. A1.02: Tage pro Jahr, an denen das 95er Perzentil der Maximum- (▲) bzw. der Minimumtemperatur (▼) an der Station Angermünde überschritten wurde.

[Darstellung: K. Gabriel]

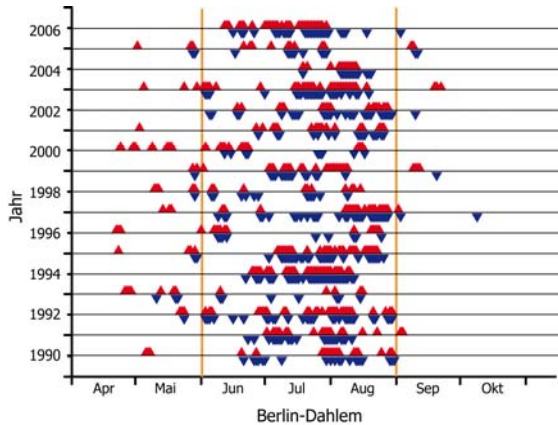


Abb. A1.03: Tage pro Jahr, an denen das 95er Perzentil der Maximum- (▲) bzw. der Minimumtemperatur (▼) an der Station Berlin-Dahlem überschritten wurde.

[Darstellung: K. Gabriel]

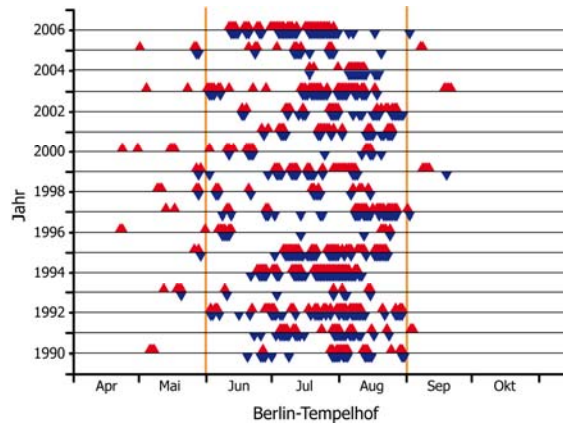


Abb. A1.04: Tage pro Jahr, an denen das 95er Perzentil der Maximum- (▲) bzw. der Minimumtemperatur (▼) an der Station Berlin-Tempelhof überschritten wurde.

[Darstellung: K. Gabriel]

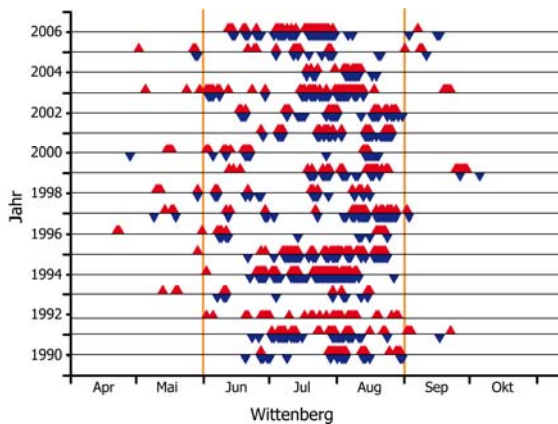


Abb. A1.05: Tage pro Jahr, an denen das 95er Perzentil der Maximum- (▲) bzw. der Minimumtemperatur (▼) an der Station Wittenberg überschritten wurde.

[Darstellung: K. Gabriel]

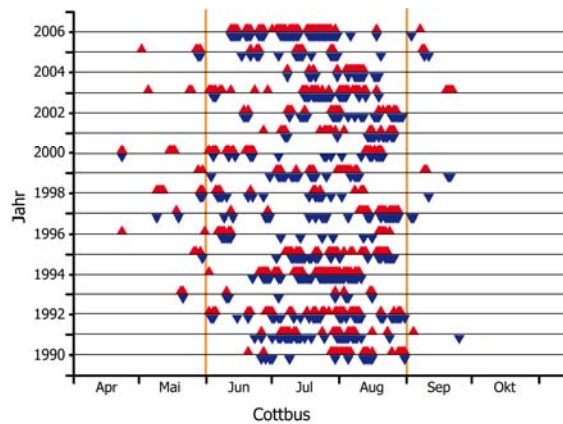


Abb. A1.06: Tage pro Jahr, an denen das 95er Perzentil der Maximum- (▲) bzw. der Minimumtemperatur (▼) an der Station Cottbus überschritten wurde.

[Darstellung: K. Gabriel]

A1.1.3 Auftreten von Hitzewellen

Tab. A1-07: Hitzewellen von 1990 bis 2006 an der Station Neuruppin, wobei gilt: $n_{\text{Tage}}: P95(T_{\text{max}}) \geq 3$
und $n_{\text{Nächte}}: P95(T_{\text{min}}) \geq 2$.

Jahr	Zeitraum	Dauer Tagen	in Auftreten hitzebelasteter Tage bzw. Nächte
1990	12.08.-14.08.	3	06.05.-31.08.
1991	06.07.-08.07. 29.07.-01.08. 05.08.-07.08.	3 4 3	23.06.-04.09.
1992	19.07.-21.07. 07.08.-10.08.	3 4	22.05.-29.08.
1993	-----	-----	20.05.-16.08.
1994	11.07.-16.07. 21.07.-02.08. 03.08.-06.08.	6 13 4	22.06.-27.08.
1995	07.07.-10.07. 11.07.-15.07. 29.07.-31.07. 17.08.-23.08.	4 5 3 7	26.05.-23.08.
1996	07.06.-09.06. 19.08.-22.08.	3 4	22.04.-28.08.
1997	08.08.-14.08. 19.08.-22.08. 24.08.-28.08.	7 4 5	13.06.-04.09.
1998	-----	-----	10.05.-10.09.
1999	03.07.-05.07. 10.07.-13.07. 31.07.-02.08. 07.08.-09.08.	3 4 3 3	28.05.-20.09.
2000	19.06.-22.06.	4	23.04.-09.09.
2001	05.07.-07.07. 24.08.-26.08.	3 3	05.07.-26.08.
2002	28.07.-01.08. 26.08.-28.08.	5 3	05.06.-10.09.
2003	02.06.-05.06. 15.07.-17.07. 19.07.-21.07. 31.08.-04.08. 11.08.-13.08.	4 3 3 5 3	25.05.-18.08.
2004	04.08.-06.08. 08.08.-11.08.	3 4	18.07.-16.08.
2005	-----	-----	02.05.-11.09.
2006	04.07.-07.07.	4	12.06.-16.09.

Anhang 1– Diagramme und Tabellen zur Hitzebestimmung

	11.07.-13.07.	3	
	19.07.-21.07.	3	
	22.07.-28.07.	7	

Tab. A1-08: Hitzewellen von 1990 bis 2006 an der Station Angermünde, wobei gilt: $n_{\text{Tage}}: P95(T_{\text{max}}) \geq 3$ und $n_{\text{Nächte}}: P95(T_{\text{min}}) \geq 2$.

Jahr	Zeitraum	Dauer Tagen	in	Auftreten hitzebelasteter Tage bzw. Nächte
1990	12.08.-14.08.	3		08.05.-31.08.
1991	06.07.-08.07.	3		23.06.-04.09.
	05.08.-07.08.	3		
1992	02.06.-04.06.	3		22.05.-29.08.
	29.06.-02.07.	4		
	01.08.-03.08.	3		
	08.08.-10.08.	3		
1993	-----	-----		26.04.-16.08.
1994	25.06.-27.06.	3		22.06.-05.09.
	12.07.-16.07.	5		
	22.07.-02.08.	12		
	04.08.-07.08.	4		
1995	08.07.-15.07.	8		27.05.-26.08.
	19.08.-21.08.	3		
1996	07.06.-09.06.	3		22.04.-25.08.
1997	09.08.-11.08.	3		12.06.-09.10.
	12.08.-14.08.	3		
	24.08.-28.08.	5		
1998	-----	-----		10.05.-11.09.
1999	03.07.-05.07.	3		28.05.-21.09.
	11.07.-13.07.	3		
	18.07.-20.07.	3		
	07.08.-09.08.	3		
2000	19.06.-22.06.	4		23.04.-09.09.
2001	05.07.-07.07.	3		05.07.-26.08.
2002	28.07.-01.08.	5		05.06.-04.09.
2003	03.06.-05.06.	3		25.05.-22.09.
	01.08.-03.08.			
2004	-----	-----		09.07.-19.08.
2005	-----	-----		02.05.-11.09.
2006	13.06.-15.06.	3		12.06.-03.09.
	19.06.-21.06.	3		
	04.07.-07.07.	4		
	09.07.-13.07.	5		
	18.07.-25.07.	8		

Anhang 1– Diagramme und Tabellen zur Hitzebestimmung

Tab. A1-09: Hitzewellen von 1990 bis 2006 an der Station Berlin-Dahlem, wobei gilt: $n_{\text{Tage}}: P95(T_{\text{max}}) \geq 3$
und $n_{\text{Nächte}}: P95(T_{\text{min}}) \geq 2$.

Jahr	Zeitraum	Dauer in Tagen	Auftreten hitzebelasteter Tage bzw. Nächte
1990	12.08.-14.08.	3	06.05.-31.08.
1991	05.07.-08.07.	4	23.06.-04.09.
	28.07.-01.08.	5	
1992	31.07.-02.08.	3	21.05.-29.08.
	06.08.-10.08.	5	
1993	-----	-----	26.04.-29.04.
1994	26.06.-29.06.	4	22.06.-12.08.
	02.07.-04.07.	3	
	11.07.-15.07.	5	
	21.07.-01.08.	12	
	03.08.-06.08.	4	
1995	08.07.-14.07.	7	23.04.-26.08.
	29.07.-01.08.	4	
	18.08.-23.08.	6	
1996	07.06.-09.06.	3	21.04.-24.08.
1997	11.08.-14.08.	4	14.05.-09.10.
	19.08.-22.08.	4	
	24.08.-28.08.	5	
1998	-----	-----	10.05.-15.08.
1999	03.07.-05.07.	3	28.05.-20.09.
	10.07.-13.07.	4	
2000	20.06.-22.06.	3	23.04.-16.08.
2001	-----	-----	03.05.-26.08.
2002	28.07.-01.08.	5	05.06.-10.09.
	26.08.-28.08.	3	
2003	02.06.-05.06.	4	05.05.-22.09.
	15.07.-17.07.	3	
	19.07.-24.07.	6	
	01.08.-04.08.	4	
2004	04.08.-12.08.	9	18.07.-19.08.
2005	-----	-----	02.05.-11.09.
2006	19.06.-21.06.	3	12.06.-03.09.
	05.07.-07.07.	7	
	11.07.-13.07.	3	
	19.07.-28.07.	10	

Anhang 1– Diagramme und Tabellen zur Hitzebestimmung

Tab. A1-10: Hitzewellen von 1990 bis 2006 an der Station Berlin-Tempelhof, wobei gilt: $n_{\text{Tage}}: P95(T_{\text{max}}) \geq 3$ und $n_{\text{Nächte}}: P95(T_{\text{min}}) \geq 2$.

Jahr	Zeitraum	Dauer in Tagen	Auftreten hitzebelasteter Tage bzw. Nächte
1990	02.08.-05.08.	4	06.05.-31.08.
	12.08.-14.08.	3	
1991	05.07.-08.07.	4	23.06.-04.09.
	29.07.-01.08.	4	
1992	29.06.-01.07.	3	02.06.-29.08.
	01.08.-03.08.	3	
	05.08.-10.08.	6	
1993	-----	-----	13.05.-16.08.
1994	25.06.-29.06.	5	22.06.-12.08.
	11.07.-15.07.	5	
	21.07.-06.08.	17	
1995	07.07.-14.07.	8	27.05.-24.08.
	20.07.-22.07.	3	
	27.07.-01.08.	6	
	18.08.-23.08.	6	
1996	07.06.-09.06.	3	22.04.-24.08.
1997	09.08.-11.08.	3	14.05.-03.09.
	12.08.-14.08.	3	
	24.08.-28.08.	5	
1998	-----	-----	10.05.-16.08.
1999	03.07.-05.07.	3	28.05.-20.09.
	10.07.-13.07.	4	
	07.08.-09.08.	3	
2000	19.06.-22.06.	4	23.04.-20.08.
2001	05.07.-07.07.	3	27.06.-26.08.
	24.08.-26.08.	3	
2002	28.07.-01.08.	5	18.06.-31.08.
	26.08.-28.08.	3	
2003	02.06.-05.06.	4	05.05.-22.09.
	15.07.-17.07.	3	
	19.07.-24.07.	6	
	01.08.-05.08.	5	
	08.08.-10.08.	3	
2004	05.08.-12.08.	8	18.07.-19.07.
2005	-----	-----	02.05.-09.09.
2006	12.06.-15.06.	4	12.06.-03.09.
	19.06.-21.06.	3	
	04.07.-07.07.	4	
	09.07.-11.07.	3	
	18.07.-28.07.	11	

Anhang 1– Diagramme und Tabellen zur Hitzebestimmung

Tab. A1-11: Hitzewellen von 1990 bis 2006 an der Station Wittenberg, wobei gilt: $n_{\text{Tage}}: P95(T_{\text{max}}) \geq 3$ und $n_{\text{Nächte}}: P95(T_{\text{min}}) \geq 2$.

Jahr	Zeitraum	Dauer Tagen	in Auftreten hitzebelasteter Tage bzw. Nächte
1990	02.08.-05.08. 12.08.-14.08.	4 3	20.06.-31.08.
1991	05.07.-08.07. 11.07.-13.07. 29.07.-31.07. 05.08.-07.08.	4 3 3 3	23.06.-22.09.
1992	29.06.-01.07. 30.07.-03.08. 06.08.-10.08.	3 5 5	02.06.-29.08.
1993	-----	-----	13.05.-16.08.
1994	25.06.-29.06. 02.07.-04.07. 11.07.-14.07. 21.07.-01.08. 03.08.-07.08.	5 3 4 12 5	02.06.-27.08.
1995	07.07.-14.07. 29.07.-01.08. 05.08.-07.08. 18.08.-23.08.	8 4 3 6	29.05.-24.08.
1996	07.06.-09.06.	3	22.04.-24.08.
1997	10.08.-14.08. 24.08.-26.08.	5 3	14.05.-09.10.
1998	-----	-----	10.05.-16.08.
1999	31.07.-02.08.	3	28.05.-20.09.
2000	19.06.-22.06. 13.08.-15.08.	4 3	27.06.-26.08.
2001	05.07.-07.07. 14.08.-16.08. 23.08.-26.08.	3 3 4	27.06.-26.08.
2002	28.07.-01.08. 18.08.-20.08. 26.08.-28.08.	5 3 3	17.06.-31.08.
2003	02.06.-05.06. 15.07.-17.07. 19.07.-22.07. 31.07.-06.08.	4 3 4 7	05.05.-22.09.
2004	04.08.-06.08. 08.08.-11.08.	3 4	18.07.-19.08.
2005	-----	-----	02.05.-11.09.
2006	04.07.-07.07. 18.07.-28.07.	4 11	12.06.-17.09.

Anhang 1– Diagramme und Tabellen zur Hitzebestimmung

Tab. A1-12: Hitzewellen von 1990 bis 2006 an der Station Cottbus, wobei gilt: $n_{\text{Tage}}: P95(T_{\text{max}}) \geq 3$
und $n_{\text{Nächte}}: P95(T_{\text{min}}) \geq 2$.

Jahr	Zeitraum	Dauer in Tagen	Auftreten hitzebelasteter Tage bzw. Nächte
1990	12.08.-14.08.	3	20.06.-31.08.
1991	06.07.-09.07.	4	23.06.-25.09.
	30.07.-01.08.	3	
	06.08.-08.08.	3	
1992	31.07.-02.08.	3	
	07.08.-10.08.	4	
1993	-----	-----	20.05.-16.08.
1994	24.06.-29.06.	4	02.06.-11.08.-
	12.07.-15.07.	4	
	22.07.-01.08.	11	
	04.08.-06.08.	3	
1995	12.07.-14.07.	3	26.05.-26.08.
	21.08.-23.08.	3	
1996	07.06.-09.06.	3	23.04.-24.08.
1997	24.08.-28.08.	5	18.05.-09.10.
1998	05.06.-07.06.	3	09.05.-11.09.
1999	03.07.-05.07.	3	28.05.-21.09.
	18.07.-20.07.	3	
2000	20.06.-22.06.	3	23.04.-21.08.
2001	24.08.-26.08.	3	27.06.-26.08.
2002	28.07.-01.08.	5	18.06.-30.08.
2003	03.06.-05.06.	3	05.05.-29.09.
	15.07.-17.07.	3	
	19.07.-22.07.	4	
	01.08.-04.08.	4	
2004	07.08.-12.08.	6	08.07.-19.08.
2005	27.05.-29.05.	3	02.05.-11.09.
	12.07.-15.07.	4	
2006	12.06.-15.06.	4	12.06.-07.09.
	16.06.-21.06.	3	
	25.06.-27.06.	3	
	04.07.-07.07.	4	
	09.07.-13.07.	5	
	17.07.-28.07.	12	

A1.2 Regression: Hockey-Stick-Methode

A1.2.1 Bestimmung des thresholds für T_{\max}

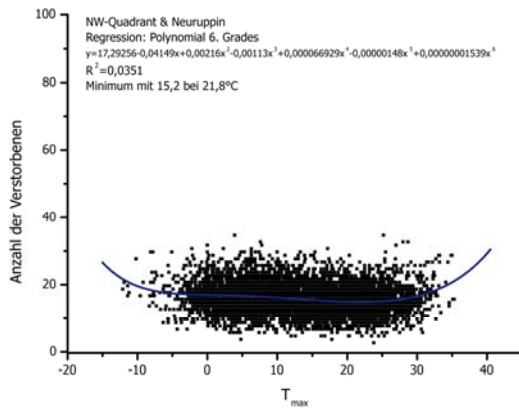


Abb. A1.07: Gegenüberstellung des Tagesmaximums der Lufttemperatur an der Station Neuruppin und der Tagessumme der Mortalität des NW-Quadranten Brandenburgs im Zeitraum von 1990 bis 2006.

[Darstellung: K. Gabriel]

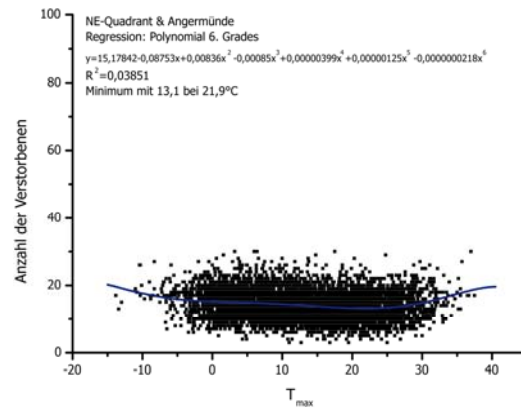


Abb. A1.08: Gegenüberstellung des Tagesmaximums der Lufttemperatur an der Station Angermünde und der Tagessumme der Mortalität des NE-Quadranten Brandenburgs im Zeitraum von 1990 bis 2006.

[Darstellung: K. Gabriel]

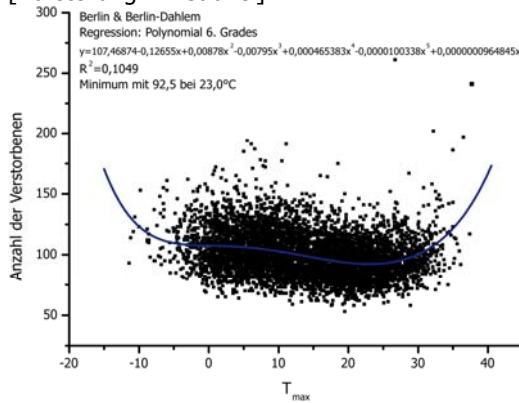


Abb. A1.09: Gegenüberstellung des Tagesmaximums der Lufttemperatur an der Station Berlin-Dahlem und der Tagessumme der Mortalität von Berlin im Zeitraum von 1990 bis 2006.

[Darstellung: K. Gabriel]

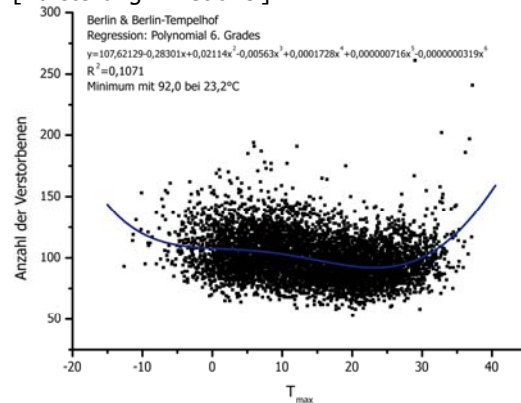


Abb. A1.10: Gegenüberstellung des Tagesmaximums der Lufttemperatur an der Station Berlin-Tempelhof und der Tagessumme der Mortalität von Berlin im Zeitraum von 1990 bis 2006.

[Darstellung: K. Gabriel]

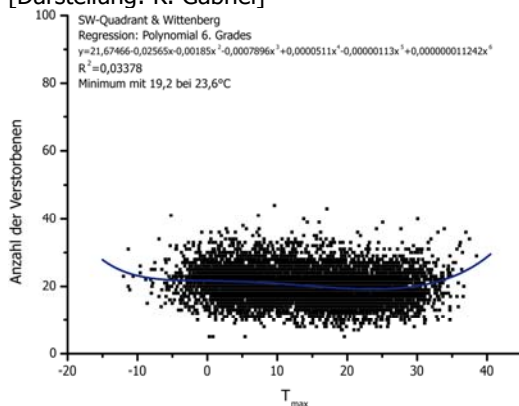


Abb. A1.11: Gegenüberstellung des Tagesmaximums der Lufttemperatur an der Station Wittenberg und der Tagessumme der Mortalität des SW-Quadranten Brandenburgs im Zeitraum von 1990 bis 2006.

[Darstellung: K. Gabriel]

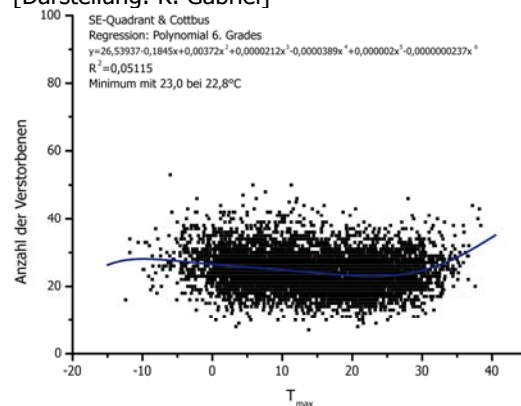


Abb. A1.12: Gegenüberstellung des Tagesmaximums der Lufttemperatur an der Station Cottbus und der Tagessumme der Mortalität des SE-Quadranten Brandenburgs im Zeitraum von 1990 bis 2006.

[Darstellung: K. Gabriel]

A1.2.2 Bestimmung des thresholds für T_{\min}

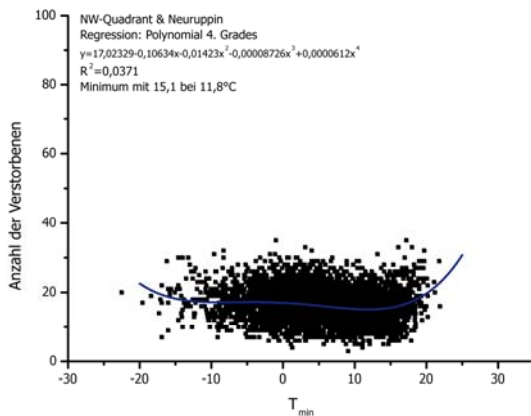


Abb. A1.13: Gegenüberstellung des Tagesminimums der Lufttemperatur an der Station Neuruppin und der Tagessumme der Mortalität des NW-Quadranten Brandenburgs im Zeitraum von 1990 bis 2006.
[Darstellung: K. Gabriel]

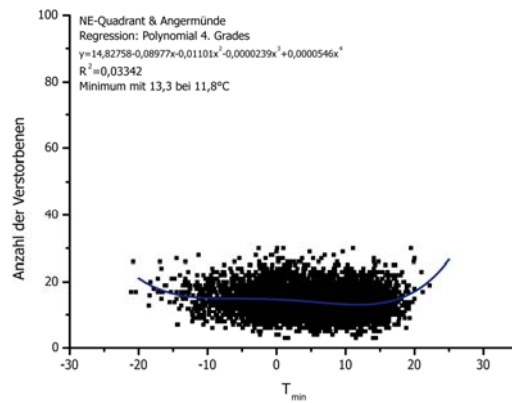


Abb. A1.14: Gegenüberstellung des Tagesminimums der Lufttemperatur an der Station Angermünde und der Tagessumme der Mortalität des NE-Quadranten Brandenburgs im Zeitraum von 1990 bis 2006.
[Darstellung: K. Gabriel]

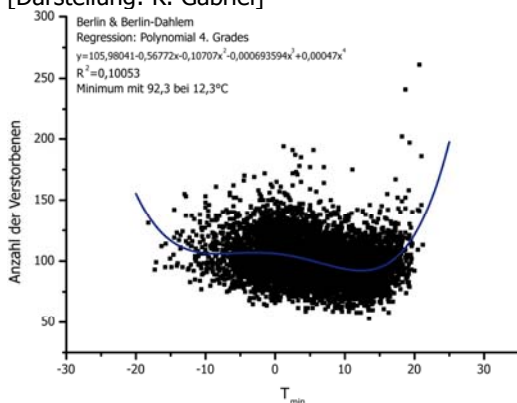


Abb. A1.15: Gegenüberstellung des Tagesminimums der Lufttemperatur an der Station Berlin-Dahlem und der Tagessumme der Mortalität von Berlin im Zeitraum von 1990 bis 2006.
[Darstellung: K. Gabriel]

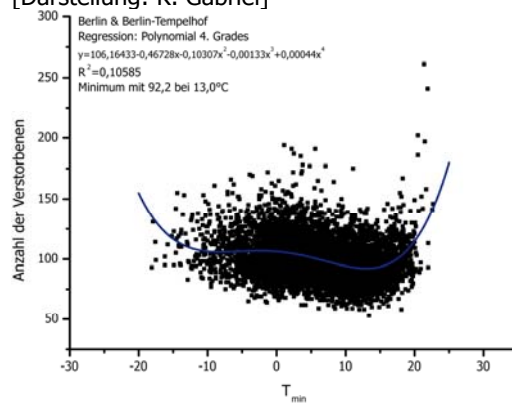


Abb. A1.16: Gegenüberstellung des Tagesminimums der Lufttemperatur an der Station Berlin-Tempelhof und der Tagessumme der Mortalität von Berlin im Zeitraum von 1990 bis 2006.
[Darstellung: K. Gabriel]

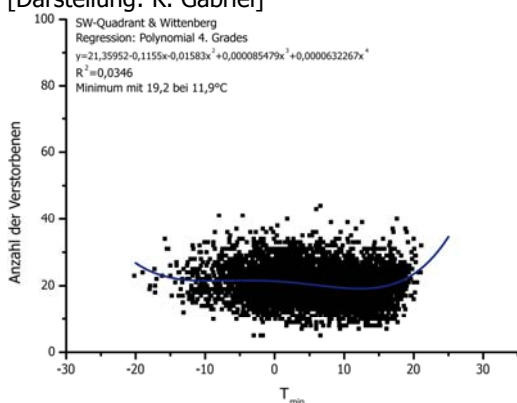


Abb. A1.17: Gegenüberstellung des Tagesminimums der Lufttemperatur an der Station Wittenberg und der Tagessumme der Mortalität des SW-Quadranten Brandenburgs im Zeitraum von 1990 bis 2006.
[Darstellung: K. Gabriel]

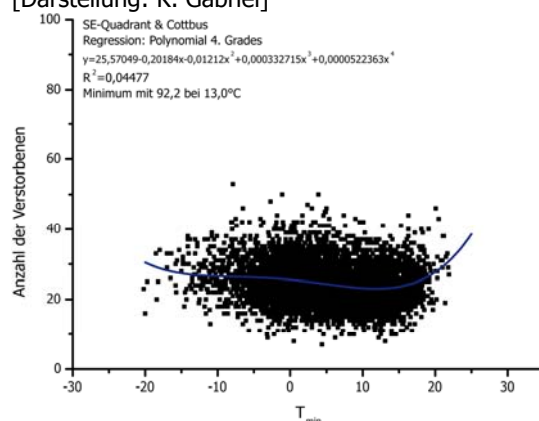


Abb. A1.18: Gegenüberstellung des Tagesminimums der Lufttemperatur an der Station Cottbus und der Tagessumme der Mortalität des SE-Quadranten Brandenburgs im Zeitraum von 1990 bis 2006.
[Darstellung: K. Gabriel]

A1.2.3 Verteilung der Überschreitungen

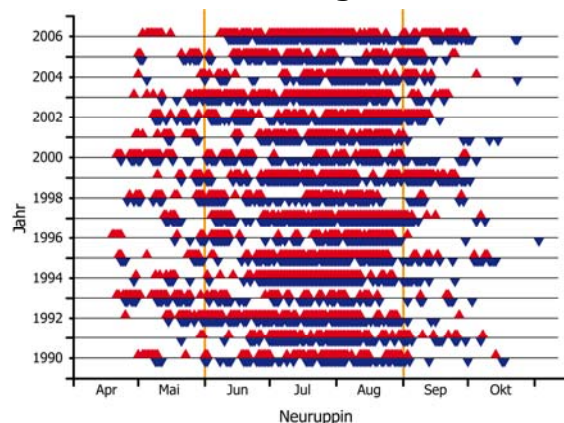


Abb. A1.19: Tage pro Jahr, an denen der 'threshold' der Maximum- (▲) bzw. der Minimumtemperatur (▼) an der Station Neuruppin überschritten wurde. Die vertikalen Linien geben den meteorologischen Sommer an.

[Darstellung: K. Gabriel]

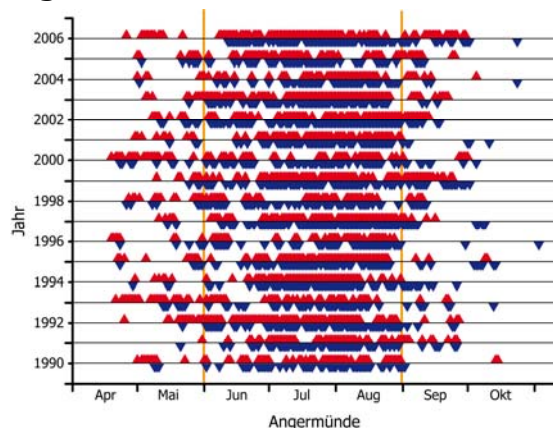


Abb. A1.20: Tage pro Jahr, an denen der 'threshold' der Maximum- (▲) bzw. der Minimumtemperatur (▼) an der Station Angermünde überschritten wurde. Die vertikalen Linien geben den meteorologischen Sommer an.

[Darstellung: K. Gabriel]

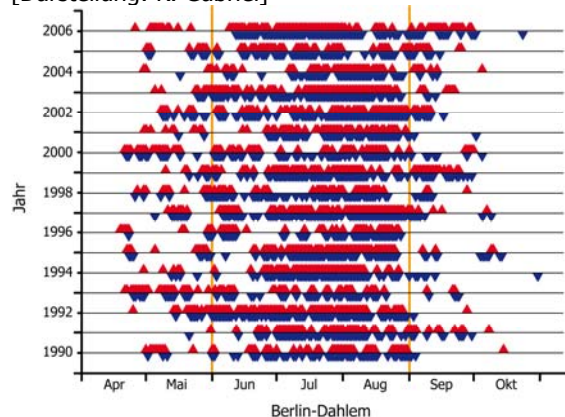


Abb. A1.21: Tage pro Jahr, an denen der 'threshold' der Maximum- (▲) bzw. der Minimumtemperatur (▼) an der Station Berlin-Dahlem überschritten wurde. Die vertikalen Linien geben den meteorologischen Sommer an.

[Darstellung: K. Gabriel]

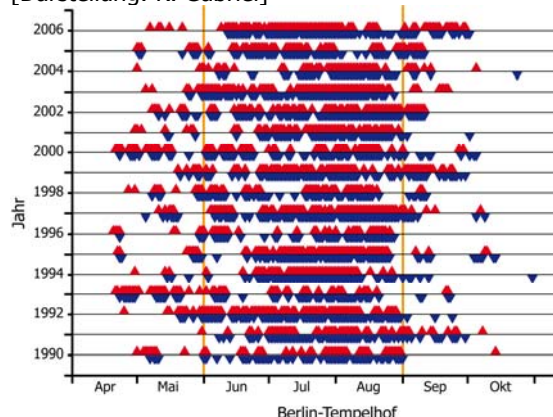


Abb. A1.22: Tage pro Jahr, an denen der 'threshold' der Maximum- (▲) bzw. der Minimumtemperatur (▼) an der Station Berlin-Tempelhof überschritten wurde. Die vertikalen Linien geben den meteorologischen Sommer an.

[Darstellung: K. Gabriel]

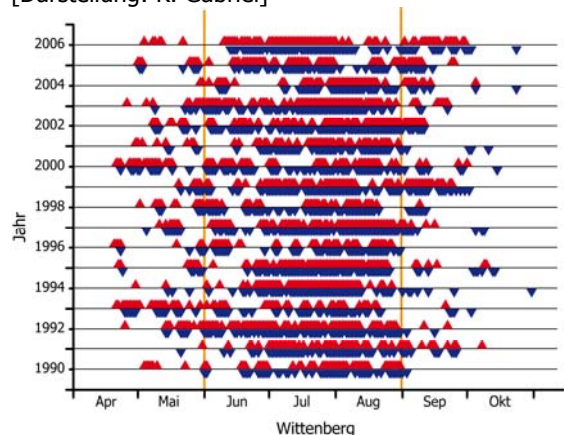


Abb. A1.23: Tage pro Jahr, an denen der 'threshold' der Maximum- (▲) bzw. der Minimumtemperatur (▼) an der Station Wittenberg überschritten wurde. Die vertikalen Linien geben den meteorologischen Sommer an.

[Darstellung: K. Gabriel]

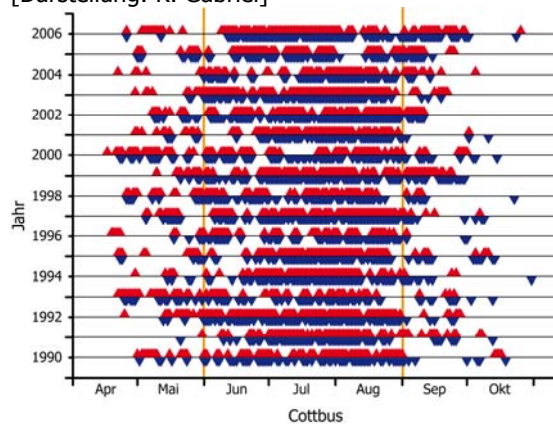


Abb. A1.24: Tage pro Jahr, an denen der 'threshold' der Maximum- (▲) bzw. der Minimumtemperatur (▼) an der Station Cottbus überschritten wurde. Die vertikalen Linien geben den meteorologischen Sommer an.

[Darstellung: K. Gabriel]

A1.2.4 Auftreten von Hitzewellen

Tab. A1-13: Hitzewellen von 1990 bis 2006 an der Station Neuruppin, wobei gilt: $n_{\text{Tage}}: HS(T_{\text{max}}) \geq 3$
und $n_{\text{Nächte}}: HS(T_{\text{min}}) \geq 2$.

Jahr	Zeitraum	Dauer in Tagen	Auftreten hitzebelasteter Tage bzw. Nächte
1990	08.05.-10.05.	3	01.05.-18.10.
	18.05.-21.05.	4	
	26.06.-01.07.	6	
	19.07.-21.07.	3	
	25.07.-05.08.	12	
	12.08.-16.08.	5	
	24.08.-26.08.	3	
	27.08.-31.08.	5	
1991	22.06.-24.06.	3	21.05.-08.10.
	01.07.-13.07.	13	
	23.07.-25.07.	3	
	27.07.-12.08.	17	
	14.08.-16.08.	3	
	22.08.-24.08.	3	
	31.08.-03.09.	4	
1992	20.05.-24.05.	5	25.04.-27.09.
	30.05.-09.06.	11	
	13.06.-16.06.	4	
	23.06.-26.06.	3	
	27.06.-02.07.	6	
	08.07.-10.07.	3	
	17.07.-27.07.	11	
	29.07.-12.08.	18	
	26.08.-29.08.	4	
1993	24.04.-26.04.	3	21.04.-03.10.
	27.04.-30.04.	4	
	09.05.-12.05.	4	
	18.05.-21.05.	4	
	09.06.-11.06.	3	
	02.07.-05.07.	4	
	17.07.-19.07.	3	
	29.07.-31.07.	3	
	02.08.-05.08.	4	
	14.08.-16.08.	3	
1994	25.06.-12.08.	49	29.04.-25.09.
1995	26.05.-29.05.	4	22.04.-14.10.
	25.06.-27.06.	3	
	28.06.-01.07.	4	

Anhang 1– Diagramme und Tabellen zur Hitzebestimmung

	06.07.-17.07.	12	
	19.07.-22.07.	4	
	24.07.-07.08.	15	
	11.08.-14.08.	4	
	15.08.-25.08.	11	
1996	04.06.-12.06.	9	19.04.-03.11.
	22.07.-24.07.	3	
	29.07.-02.08.	5	
	05.08.-12.08.	8	
	16.08.-27.08.	12	
1997	16.05.-18.05.	3	13.05.-09.10.
	05.06.-09.06.	5	
	10.06.-13.06.	4	
	28.06.-30.06.	3	
	09.07.-17.07.	9	
	21.07.-30.07.	10	
	02.08.-03.09.	33	
1998	30.04.-02.05.	3	26.04.-29.09.
	10.05.-12.05.	3	
	28.05.-31.05.	4	
	03.06.-10.06.	8	
	20.06.-22.06.	3	
	25.06.-27.06.	3	
	20.07.-24.07.	5	
	26.07.-30.07.	5	
	06.08.-09.08.	4	
	10.08.-13.08.	4	
1999	27.05.-30.05.	4	10.05.-02.10.
	29.06.-14.07.	16	
	16.07.-21.07.	6	
	27.07.-10.08.	17	
	25.08.-28.08.	4	
	02.09.-14.09.	13	
	23.09.-25.09.	3	
2000	27.04.-29.04.	3	21.04.-05.10.
	30.04.-02.05.	3	
	07.05.-11.05.	5	
	09.06.-13.06.	5	
	18.06.-23.06.	6	
	24.07.-27.07.	4	
	03.08.-05.08.	3	
	12.08.-20.08.	9	
2001	14.05.-16.05.	3	30.04.-15.10.

Anhang 1– Diagramme und Tabellen zur Hitzebestimmung

	29.06.-01.07.	3	
	03.07.-08.07.	6	
	10.07.-13.07.	4	
	19.07.-31.07.	13	
	02.08.-04.08.	3	
	14.08.-17.08.	4	
	19.08.-26.08.	8	
2002	08.05.-11.05.	4	08.05.-18.09.
	21.05.-23.05.	3	
	03.06.-06.06.	4	
	15.06.-20.06.	6	
	08.07.-10.07.	3	
	15.07.-17.07.	3	
	27.07.-01.08.	6	
	06.08.-11.08.	6	
	14.08.-31.08.	18	
	02.09.-05.09.	4	
	08.09.-11.09.	4	
2003	01.06.-08.06.	8	29.04.-22.09.
	10.06.-13.06.	4	
	17.06.-19.06.	3	
	28.06.-01.07.	4	
	14.07.-15.08.	33	
	17.08.-20.08.	4	
	21.08.-24.08.	4	
2004	07.07.-09.07.	3	01.05.-24.10.
	17.07.-21.07.	5	
	29.07.-14.08.	17	
	15.08.-20.08.	6	
	02.09.-06.09.	5	
2005	26.05.-29.05.	4	01.05.-25.10.
	14.06.-07.06.	4	
	20.06.-22.06.	3	
	23.06.-27.06.	5	
	02.07.-04.07.	3	
	09.07.-15.07.	7	
	28.07.-31.07.	4	
	18.08.-22.08.	5	
	30.08.-02.09.	4	
	05.09.-10.09.	6	
2006	11.06.-16.06.	6	03.05.-24.10.
	18.06.-21.06.	4	
	24.06.-27.06.	4	

Anhang 1– Diagramme und Tabellen zur Hitzebestimmung

01.07.-14.07.	14	
15.07.-03.08.	20	
04.08.-09.08.	6	
16.09.-20.09.	5	
14.09.-18.09.	5	
21.09.-26.09.	6	

Tab. A1-14: Hitzewellen von 1990 bis 2006 an der Station Angermünde, wobei gilt: $n_{\text{Tage}}: \text{HS}(T_{\text{max}}) \geq 3$ und $n_{\text{Nächte}}: \text{HS}(T_{\text{min}}) \geq 2$.

Jahr	Zeitraum	Dauer in Tagen	Auftreten hitzebelasteter Tage bzw. Nächte
1990	08.05.-10.05.	3	01.05.-15.10.
	18.06.-20.06.	4	
	26.06.-01.07.	6	
	28.07.-01.08.	5	
	02.08.-06.08.	5	
	12.08.-16.08.	5	
	29.08.-31.08.	3	
1991	01.07.-03.07.	3	21.05.-26.09.
	05.07.-10.07.	6	
	11.07.-13.07.	3	
	28.07.-10.08.	14	
	22.08.-24.08.	3	
1992	01.06.-09.06.	9	25.04.-27.09.
	14.06.-16.06.	3	
	29.06.-02.07.	4	
	03.07.-05.07.	3	
	08.07.-14.07.	7	
	17.07.-23.07.	7	
	24.07.-27.07.	4	
	30.07.-04.07.	6	
	05.08.-12.08.	8	
	20.08.-29.08.	4	
1993 1	19.05.-21.05.	3	21.04.-13.10.
	02.07.-05.07.	4	
	29.07.-31.07.	3	
	02.08.-05.08.	4	
	14.08.-16.08.	3	
1994	25.06.-29.06.	5	29.04.-26.09.
	02.07.-06.07.	5	
	09.07.-19.07.	11	

Anhang 1– Diagramme und Tabellen zur Hitzebestimmung

	21.07.-09.08.	20	
	10.08.-12.08.	3	
1995	26.05.-29.05.	4	22.04.-14.10.
	25.06.-27.06.	3	
	28.06.-30.06.	3	
	06.07.-17.07.	12	
	19.07.-22.07.	4	
	26.07.-02.08.	8	
	03.08.-05.08.	3	
	06.08.-08.08.	3	
	12.08.-14.08.	3	
	15.08.-25.08.	11	
1996	05.06.-12.06.	8	19.04.-03.11.
	29.07.-02.08.	5	
	08.08.-12.08.	5	
	17.08.-24.08.	8	
1	12.06.-14.06.	3	11.05.-09.10.
	28.06.-30.06.	3	
	02.07.-05.07.	4	
	14.07.-17.07.	4	
	21.07.-30.07.	10	
	02.08.-17.08.	16	
	18.08.-29.08.	12	
	31.08.-02.09.	3	
1998	28.05.-31.05.	4	26.04.-12.09.
	05.06.-10.06.	6	
	20.06.-22.06.	3	
	20.07.-24.07.	5	
	26.07.-28.07.	3	
	06.08.-09.08.	4	
	11.08.-13.08.	3	
	08.09.-10.09.	3	
1999	28.05.-30.05.	3	10.05.-02.10.
	02.07.-09.07.	8	
	10.07.-14.07.	4	
	16.07.-22.07.	7	
	30.07.-10.08.	12	
	25.08.-28.08.	4	
	06.09.-12.09.	7	
2000	22.04.-24.04.	3	19.04.-05.10.
	27.04.-29.04.	3	
	09.06.-11.06.	3	
	19.06.-23.06.	5	

Anhang 1– Diagramme und Tabellen zur Hitzebestimmung

	24.07.-27.07.	4	
	01.08.-04.08.	4	
	13.08.-21.08.	9	
2001	27.06.-30.06.	4	30.04.-11.10.
	04.07.-08.07.	5	
	12.07.-14.07.	3	
	18.07.-30.07.	13	
	02.08.-05.08.	3	
	14.08.-17.08.	4	
	19.08.-27.08.	8	
2002	03.06.-06.06.	4	08.05.-18.09.
	15.06.-20.06.	6	
	08.07.-11.07.	4	
	13.07.-18.07.	6	
	27.07.-01.08.	6	
	06.08.-11.08.	6	
	14.08.-31.08.	18	
	03.09.-08.09.	6	
2003	02.06.-06.06.	5	05.05.-22.09.
	29.06.-01.07.	3	
	14.07.-29.07.	16	
	30.07.-06.08.	8	
	07.08.-10.08.	4	
	11.08.-15.08.	5	
	17.08.-20.08.	4	
	21.08.-25.08.	5	
2004	07.07.-09.07.	3	01.05.-24.10.
	17.07.-21.07.	5	
	30.07.-13.08.	15	
	15.08.-20.08.	6	
2005	26.05.-29.05.	4	01.05.-25.09.
	20.06.-25.06.	6	
	02.07.-04.07.	3	
	07.07.-16.07.	10	
	28.07.-31.07.	4	
	19.07.-22.08.	4	
	06.09.-10.09.	5	
2006	11.06.-16.06.	6	26.04.-24.10.
	17.06.-22.06.	5	
	24.06.-27.06.	4	
	04.07.-14.07.	11	
	17.07.-04.08.	19	
	07.08.-09.08.	3	

Anhang 1– Diagramme und Tabellen zur Hitzebestimmung

16.08.-20.08.	5	
15.09.-17.09.	3	
22.09.-24.09.	3	

Tab. A1-15: Hitzewellen von 1990 bis 2006 an der Station Berlin-Dahlem, wobei gilt: $n_{\text{Tage}}: HS(T_{\text{max}}) \geq 3$ und $n_{\text{Nächte}}: HS(T_{\text{min}}) \geq 2$.

Jahr	Zeitraum	Dauer in Tagen	Auftreten hitzebelasteter Tage bzw. Nächte
1990	19.06.-21.06.	3	01.05.-15.10.
	26.06.-28.06.	3	
	27.07.-01.08.	6	
	02.08.-06.08.	5	
	12.08.-16.08.	5	
	24.08.-26.08.	3	
	27.08.-31.08.	5	
1991	22.06.-24.06.	3	21.05.-08.10.
	01.07.-13.07.	13	
	26.07.-01.08.	7	
	03.08.-08.08.	6	
	22.08.-24.08.	3	
	01.09.-03.09.	3	
1992	21.05.-25.05.	5	25.05.-28.09.
	31.05.-09.06.	10	
	14.06.-16.06.	3	
	19.06.-21.06.	3	
	27.06.-04.07.	8	
	17.07.-27.07.	11	
	29.07.-04.08.	7	
	05.08.-12.08.	8	
	19.08.-21.08.	3	
	25.08.-29.08.	5	
1993	24.04.-26.04.	3	21.04.-24.09.
	27.04.-30.04.	4	
	09.05.-14.05.	6	
	18.05.-21.05.	4	
	08.06.-11.06.	4	
	02.07.-05.07.	4	
	02.08.-05.08.	4	
	14.08.-16.08.	3	
1994	25.06.-29.06.	5	30.04.-31.10.
	01.07.-06.07.	6	
	10.07.-20.07.	11	
	21.07.-11.08.	22	

Anhang 1– Diagramme und Tabellen zur Hitzebestimmung

1995	22.04.-24.04.	3	22.04.-14.10.
	25.05.-27.05.	3	
	25.06.-27.06.	3	
	28.06.-30.06.	3	
	06.07.-17.07.	12	
	19.07.-22.07.	4	
	24.07.-02.08.	10	
	03.08.-07.08.	5	
	11.08.-14.08.	4	
	16.08.-25.08.	10	
1996	30.05.-01.06.	3	19.04.-28.08.
	05.06.-12.06.	8	
	07.08.-12.08.	6	
	18.08.-24.08.	7	
1997	16.05.-18.05.	3	05.05.-09.10.
	05.06.-09.06.	5	
	10.06.-13.06.	4	
	28.06.-30.06.	3	
	02.07.-04.07.	3	
	14.07.-17.07.	4	
	21.07.-25.07.	5	
	03.08.-29.08.	27	
	31.08.-02.09.	3	
1998	28.05.-31.05.	4	26.04.-28.09.
	04.06.-07.06.	4	
	25.06.-27.06.	3	
	20.07.-24.07.	5	
	26.07.-28.07.	3	
	07.08.-09.08.	3	
	10.08.-13.08.	4	
1999	28.05.-30.05.	3	10.05.-30.09.
	01.06.-03.06.	3	
	29.06.-06.07.	8	
	08.07.-14.07.	7	
	17.07.-21.07.	5	
	28.07.-10.08.	14	
	25.08.-27.08.	3	
	06.09.-12.09.	7	
2000	21.04.-23.04.	3	21.04.-05.10.
	27.04.-29.04.	3	
	07.05.-11.05.	5	
	02.06.-05.06.	4	
	09.06.-11.06.	3	
	19.06.-23.06.	5	
	12.08.-21.08.	10	

Anhang 1– Diagramme und Tabellen zur Hitzebestimmung

2001	03.07.-08.07.	6	30.04.-02.10.
	22.07.-31.07.	10	
	02.08.-05.08.	4	
	14.08.-17.08.	4	
	22.08.-26.08.	5	
2002	08.05.-11.05.	4	08.05.-17.09.
	21.05.-23.05.	3	
	03.06.-06.06.	4	
	17.06.-20.06.	4	
	08.07.-10.07.	3	
	27.07.-01.08.	6	
	06.08.-11.08.	6	
	15.08.-31.08.	17	
	03.09.-05.09.	3	
	07.09.-11.09.	5	
2003	31.05.-06.06.	7	05.05.-22.09.
	10.06.-12.06.	3	
	28.06.-30.06.	3	
	14.07.-15.08.	33	
	17.08.-19.08.	3	
	21.08.-23.08.	3	
2004	07.07.-09.07.	3	30.04.-05.10.
	17.07.-21.07.	5	
	29.07.-13.08.	16	
	15.08.-20.08.	6	
2005	01.05.-03.05.	3	01.05.-25.09.
	26.05.-29.05.	4	
	14.06.-16.06.	3	
	23.06.-26.06.	4	
	02.07.-04.07.	3	
	10.07.-15.07.	6	
	27.07.-31.07.	5	
	18.08.-22.08.	5	
	30.08.-02.09.	4	
	08.09.-10.09.	3	
2006	11.06.-16.06.	6	26.04.-24.10.
	18.06.-22.06.	5	
	24.06.-27.06.	4	
	01.07.-14.07.	14	
	15.07.-02.08.	19	
	16.08.-20.08.	5	
	14.09.-18.09.	5	

Anhang 1– Diagramme und Tabellen zur Hitzebestimmung

Tab. A1-16: Hitzewellen von 1990 bis 2006 an der Station Berlin-Tempelhof, wobei gilt: $n_{\text{Tage}}: \text{HS}(T_{\text{max}}) \geq 3$ und $n_{\text{Nächte}}: \text{HS}(T_{\text{min}}) \geq 2$.

Jahr	Zeitraum	Dauer in Tagen	Auftreten hitzebelasteter Tage bzw. Nächte
1990	08.05.-10.05.	3	01.05.-14.10.
	18.06.-20.06.	3	
	26.06.-28.06.	3	
	27.07.-06.08.	11	
	12.08.-16.08.	5	
	24.08.-26.08.	3	
	28.08.-31.08.	4	
1991	01.07.-13.07.	13	31.05.-08.10.
	27.07.-01.08.	6	
	03.08.-11.08.	9	
	22.08.-24.08.	3	
1992	20.05.-23.05.	4	25.04.-24.09.
	30.05.-09.06.	11	
	14.06.-16.06.	3	
	19.06.-21.06.	3	
	27.06.-04.07.	8	
	08.07.-10.07.	3	
	17.07.-27.07.	11	
	30.07.-12.08.	15	
	19.08.-21.08.	3	
	25.08.-29.08.	5	
1993	24.04.-30.04.	7	21.04.-23.09.
	09.05.-14.05.	6	
	18.05.-21.05.	4	
	08.06.-11.06.	4	
	02.07.-05.07.	4	
	17.07.-19.07.	3	
	02.08.-04.08.	3	
	14.08.-16.08.	3	
1994	25.06.-29.06.	5	30.04.-31.10.
	02.07.-06.07.	5	
	10.07.-11.08.	33	
1995	26.05.-29.05.	4	22.04.-14.10.
	28.06.-30.06.	3	
	06.07.-17.07.	12	
	19.07.-22.07.	4	
	26.07.-08.08.	14	
	10.08.-14.08.	5	
	16.08.-25.08.	9	
1996	30.05.-01.06.	3	20.04.-28.08.
	05.06.-12.06.	8	

Anhang 1– Diagramme und Tabellen zur Hitzebestimmung

	09.08.-12.08.	4	
	17.08.-24.08.	8	
1997	16.05.-18.05.	3	05.05.-09.10.
	07.06.-09.06.	3	
	10.06.-14.06.	5	
	28.06.-30.06.	3	
	07.07.-12.07.	6	
	14.07.-17.07.	4	
	21.07.-25.07.	5	
	02.08.-29.08.	28	
	31.08.-02.08.	3	
1998	10.05.-12.05.	3	27.04.-12.09.
	28.05.-31.05.	4	
	05.06.-07.06.	3	
	20.06.-22.06.	3	
	25.06.-27.06.	3	
	20.07.-24.07.	5	
	26.07.-28.07.	3	
	06.08.-09.08.	4	
	10.08.-13.08.	4	
	15.08.-18.08.	4	
1999	28.05.-30.05.	3	20.05.-30.09.
	02.07.-06.07.	5	
	08.07.-14.07.	7	
	16.07.-21.07.	6	
	28.07.-10.08.	14	
	25.08.-27.08.	3	
	05.09.-12.09.	8	
2000	27.04.-30.04.	4	20.04.-05.10.
	07.05.-11.05.	5	
	15.05.-17.05.	3	
	02.06.-05.06.	4	
	09.06.-14.06.	6	
	18.06.-23.06.	6	
	24.06.-27.06.	4	
	01.08.-04.08.	4	
	12.08.-21.08.	10	
2001	03.07.-08.07.	6	30.04.-02.10.
	20.07.-01.08.	13	
	02.08.-05.08.	4	
	07.08.-09.08.	3	
	14.08.-17.08.	4	
	22.08.-27.08.	6	
2002	21.05.-23.05.	3	08.05.-11.09.
	04.06.-06.06.	3	

Anhang 1– Diagramme und Tabellen zur Hitzebestimmung

	17.06.-20.06.	4	
	08.07.-10.07.	3	
	15.07.-17.07.	3	
	27.07.-01.08.	6	
	06.08.-11.08.	6	
	15.08.-31.08.	17	
	03.09.-11.09.	9	
2003	30.05.-08.06.	10	05.05.-22.09.
	10.06.-14.06.	5	
	28.06.-03.07.	6	
	14.07.-16.08.	34	
	17.08.-20.08.	4	
	21.08.-23.08.	3	
2004	17.07.-21.07.	5	01.05.-24.10.
	29.07.-14.08.	17	
	15.08.-20.08.	6	
	05.09.-07.09.	3	
2005	01.05.-03.05.	3	01.05.-11.09.
	26.05.-29.05.	4	
	14.06.-16.06.	3	
	23.06.-28.06.	6	
	02.07.-04.07.	3	
	09.07.-16.07.	8	
	27.07.-31.07.	5	
	18.08.-22.08.	5	
	29.08.-02.09.	5	
	05.09.-10.09.	6	
2006	11.06.-16.06.	6	07.05.-02.10.
	18.06.-22.06.	5	
	24.06.-27.06.	4	
	01.07.-14.07.	14	
	15.07.-04.08.	21	
	07.08.-09.08.	3	
	16.08.-20.08.	5	
	14.09.-18.09.	5	
	23.09.-25.09.	3	

Anhang 1– Diagramme und Tabellen zur Hitzebestimmung

Tab. A1-17: Hitzewellen von 1990 bis 2006 an der Station Wittenberg, wobei gilt: $n_{\text{Tage}}: HS(T_{\text{max}}) \geq 3$
und $n_{\text{Nächte}}: HS(T_{\text{min}}) \geq 2$.

Jahr	Zeitraum	Dauer in Tagen	Auftreten hitzebelasteter Tage bzw. Nächte
1990	18.06.-20.06.	3	04.05.-03.09.
	26.06.-30.06.	5	
	26.07.-06.08.	12	
	11.08.-16.08.	6	
	25.08.-31.08.	7	
1991	01.07.-13.07.	13	21.05.-08.10.
	27.07.-01.08.	6	
	04.08.-11.08.	8	
	14.08.-16.08.	3	
	22.08.-24.08.	3	
	31.08.-03.09.	4	
1992	20.05.-24.05.	5	25.04.-22.09.
	31.05.-04.06.	5	
	05.06.-07.06.	3	
	14.06.-16.06.	3	
	19.06.-22.06.	4	
	27.06.-04.07.	8	
	08.07.-10.07.	3	
	16.07.-18.07.	3	
	19.07.-24.07.	6	
	30.07.-04.08.	6	
	05.08.-12.08.	8	
	18.08.-22.08.	5	
	25.08.-29.08.	5	
1993	24.04.-30.04.	7	21.04.-03.10.
	09.05.-14.05.	6	
	18.05.-20.05.	3	
	08.06.-11.06.	4	
	03.07.-05.07.	3	
	17.07.-19.07.	3	
	02.08.-05.08.	4	
	14.08.-16.08.	3	
1994	25.06.-30.06.	6	30.04.-31.10.
	01.07.-06.07.	6	
	10.07.-10.08.	32	
1995	25.05.-27.05.	3	22.04.-14.10.
	25.06.-27.06.	3	
	28.06.-30.06.	3	
	06.07.-17.07.	12	
	19.07.-23.07.	5	
	24.07.-02.08.	10	

Anhang 1– Diagramme und Tabellen zur Hitzebestimmung

	03.08.-08.08.	6	
	10.08.-14.08.	5	
	16.08.-25.08.	10	
1996	05.06.-12.06.	8	20.04.-31.08.
	27.07.-29.07.	3	
	31.07.-02.08.	3	
	09.08.-11.08.	3	
	18.08.-24.08.	7	
1997	16.05.-20.05.	5	05.05.-09.10.
	07.06.-09.06.	3	
	10.06.-13.06.	4	
	28.06.-30.06.	3	
	07.07.-15.07.	9	
	21.07.-25.07.	5	
	02.08.-28.08.	27	
	31.08.-02.09.	3	
1998	10.05.-12.05.	3	02.05.-12.09.
	28.05.-31.05.	4	
	02.06.-07.06.	6	
	20.06.-22.06.	3	
	25.06.-27.06.	3	
	19.07.-24.07.	6	
	06.08.-12.08.	7	
	15.08.-18.08.	4	
1999	27.05.-30.05.	4	20.05.-02.10.
	29.06.-06.07.	8	
	08.07.-13.07.	6	
	17.07.-21.07.	5	
	27.07.-10.08.	15	
	25.08.-27.08.	3	
	03.09.-05.09.	3	
	06.09.-13.09.	8	
	17.09.-20.09.	4	
2000	27.04.-29.04.	3	21.04.-15.10.
	30.04.-02.05.	3	
	06.05.-11.05.	6	
	02.06.-05.06.	4	
	09.06.-12.06.	4	
	18.06.-22.06.	5	
	01.07.-04.07.	4	
	24.07.-27.07.	4	
	03.08.-06.08.	4	
	12.08.-21.08.	10	
2001	04.07.-07.07.	4	30.04.-11.10.
	22.07.-31.07.	10	

Anhang 1– Diagramme und Tabellen zur Hitzebestimmung

	02.08.-04.08.	3	
	14.08.-17.08.	4	
	22.08.-26.08.	5	
2002	08.05.-10.05.	3	08.05.-11.09.
	21.05.-23.05.	3	
	03.06.-05.06.	3	
	17.06.-20.06.	4	
	08.07.-10.07.	3	
	27.07.-04.08.	9	
	09.08.-11.08.	3	
	15.08.-31.08.	17	
	03.09.-06.09.	4	
	07.09.-11.09.	5	
2003	31.05.-08.06.	9	26.04.-22.09.
	10.06.-12.06.	3	
	28.06.-30.06.	3	
	14.07.-13.08.	31	
	17.08.-19.08.	3	
2004	07.06.-11.06.	5	30.05.-24.10.
	17.06.-21.06.	5	
	29.07.-14.08.	17	
	15.08.-20.08.	6	
	04.08.-07.08.	4	
2005	01.05.-03.05.	3	01.05.-25.09.
	26.05.-29.05.	4	
	19.06.-22.06.	4	
	23.06.-26.06.	4	
	10.07.-17.07.	8	
	24.07.-31.07.	8	
	18.08.-22.08.	5	
	30.08.-02.09.	4	
	06.09.-10.09.	5	
2006	12.06.-16.06.	5	04.05.-24.10.
	18.06.-22.06.	5	
	24.06.-27.06.	4	
	01.07.-14.07.	14	
	15.07.-01.08.	18	
	14.09.-18.09.	5	
	23.09.-26.09.	4	

Anhang 1– Diagramme und Tabellen zur Hitzebestimmung

Tab. A1-18: Hitzewellen von 1990 bis 2006 an der Station Cottbus, wobei gilt: $n_{\text{Tage}}: HS(T_{\text{max}}) \geq 3$
und $n_{\text{Nächte}}: HS(T_{\text{min}}) \geq 2$.

Jahr	Zeitraum	Dauer in Tagen	Auftreten hitzebelasteter Tage bzw. Nächte
1990	18.06.-22.06.	5	01.05.-19.10.
	26.06.-02.07.	7	
	28.07.-30.07.	3	
	02.08.-06.08.	5	
	08.08.-16.08.	9	
	27.08.-01.09.	6	
1991	22.06.-24.06.	3	21.05.-13.10.
	01.07.-05.07.	5	
	06.07.-17.07.	12	
	23.07.-25.07.	3	
	28.07.-12.08.	16	
	14.08.-17.08.	4	
	15.09.-17.09.	3	
1992	31.05.-04.06.	5	25.04.-28.09.
	07.06.-09.06.	3	
	14.06.-22.06.	9	
	29.06.-04.07.	6	
	08.07.-13.07.	6	
	19.07.-27.07.	9	
	29.07.-04.08.	7	
	05.08.-12.08.	8	
	18.08.-23.08.	6	
	24.08.-29.08.	6	
1993	24.04.-26.04.	3	22.04.-13.10.
	27.04.-30.04.	4	
	10.05.-12.05.	3	
	18.05.-21.05.	4	
	08.06.-11.06.	4	
	03.07.-05.07.	3	
	17.07.-19.07.	3	
	29.07.-31.07.	3	
	02.08.-05.08.	4	
	14.08.-16.08.	3	
1994	25.06.-30.06.	6	30.04.-31.10.
	01.07.-07.07.	7	
	11.07.-20.07.	10	
	21.07.-12.08.	23	
	22.08.-24.08.	3	
1995	22.04.-24.04.	3	22.04.-14.10.
	07.07.-17.07.	11	
	19.07.-23.07.	5	

Anhang 1– Diagramme und Tabellen zur Hitzebestimmung

	24.07.-02.08.	10	
	03.08.-09.08.	7	
	17.08.-25.08.	9	
	11.09.-13.09.	3	
1996	30.05.-01.06.	3	19.04.-01.10.
	05.06.-12.06.	8	
	03.07.-06.07.	4	
	27.07.-29.07.	3	
	31.07.-02.08.	3	
	07.08.-11.08.	5	
	18.08.-24.08.	7	
1997	14.05.-20.05.	7	05.05.-09.10.
	07.06.-09.06.	3	
	10.06.-14.06.	5	
	28.06.-30.06.	3	
	02.07.-04.07.	3	
	14.07.-17.07.	4	
	21.07.-25.07.	5	
	27.07.-29.07.	3	
	03.08.-05.08.	3	
	06.08.-29.08.	24	
1998	27.05.-31.05.	5	26.04.-23.10.
	02.06.-04.06.	3	
	05.06.-07.06.	3	
	25.06.-28.06.	4	
	20.07.-24.07.	5	
	26.07.-28.07.	3	
	06.08.-09.08.	4	
	10.08.-12.08.	3	
	15.08.-18.08.	4	
	08.09.-10.09.	3	
1999	28.05.-30.05.	3	10.05.-30.09.
	29.06.-06.07.	8	
	08.07.-14.07.	7	
	17.07.-22.07.	6	
	25.07.-27.07.	3	
	30.07.-02.08.	4	
	05.08.-10.08.	6	
	25.08.-28.08.	4	
	06.09.-08.09.	3	
	09.09.-12.09.	4	
2000	22.04.-24.04.	3	17.04.-15.10.
	27.04.-29.04.	3	
	06.05.-11.05.	6	
	02.06.-05.06.	4	

Anhang 1– Diagramme und Tabellen zur Hitzebestimmung

	09.06.-14.06.	6	
	19.06.-23.06.	5	
	01.07.-04.07.	4	
	24.07.-28.07.	5	
	01.08.-04.08.	4	
	10.08.-12.08.	3	
	13.08.-21.08.	9	
2001	26.06.-01.07.	6	30.04.-11.10.
	03.07.-08.07.	6	
	12.07.-15.07.	4	
	22.07.-01.08.	11	
	02.08.-05.08.	4	
	06.08.-09.08.	4	
	22.08.-27.08.	6	
2002	08.05.-11.05.	4	08.05.-11.09.
	21.05.-23.05.	3	
	03.06.-06.06.	4	
	15.06.-23.06.	9	
	05.07.-07.07.	3	
	08.07.-11.07.	4	
	12.07.-17.07.	6	
	27.07.-01.08.	6	
	06.08.-11.08.	6	
	15.08.-31.08.	17	
	03.09.-06.09.	4	
	07.09.-11.09.	5	
2003	31.05.-06.06.	7	30.04.-22.09.
	07.06.-09.06.	3	
	10.06.-13.06.	4	
	28.06.-03.07.	6	
	11.07.-13.07.	3	
	14.07.-15.08.	33	
	17.08.-20.08.	4	
	21.08.-24.08.	4	
2004	06.06.-08.06.	3	22.04.-05.10.
	07.07.-09.07.	3	
	17.07.-21.07.	5	
	23.07.-25.07.	3	
	28.07.-13.08.	17	
	15.08.-20.08.	6	
	03.09.-06.09.	4	
2005	01.05.-03.05.	3	01.05.-25.09.
	25.05.-29.05.	5	
	14.06.-17.06.	4	
	20.06.-27.06.	8	

Anhang 1– Diagramme und Tabellen zur Hitzebestimmung

	02.07.-04.07.	3	
	09.07.-17.07.	9	
	24.07.-31.07.	8	
	17.08.-22.08.	6	
	28.08.-02.09.	6	
	04.09.-11.09.	8	
2006	11.06.-16.06.	6	26.04.-26.10.
	18.06.-22.06.	5	
	01.07.-14.07.	14	
	16.07.-03.08.	19	
	07.08.-09.08.	3	
	16.08.-20.08.	5	
	10.09.-18.09.	9	
	23.09.-26.09.	4	

A1.3 Index: Gefühlte Temperatur

A1.3.1 Verteilung der Überschreitungen

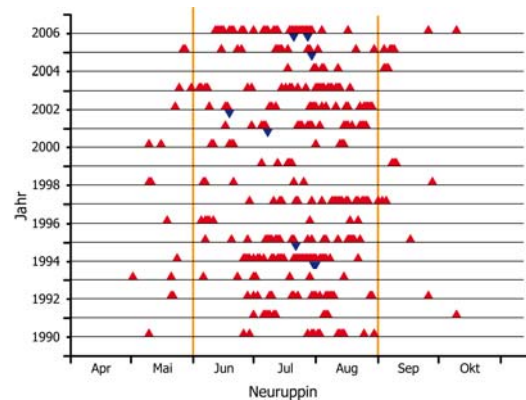


Abb. A1.25: Tage pro Jahr, an denen an der Station Neuruppin die Gefühlte Temperatur zu den Messzeiten 09:00, 12:00 oder 15:00 den Wert von 32°C (▲) bzw. zu den Messzeiten 00:00 oder 03:00 den Wert 20°C (▼) überschreitet.

[Darstellung: K. Gabriel]

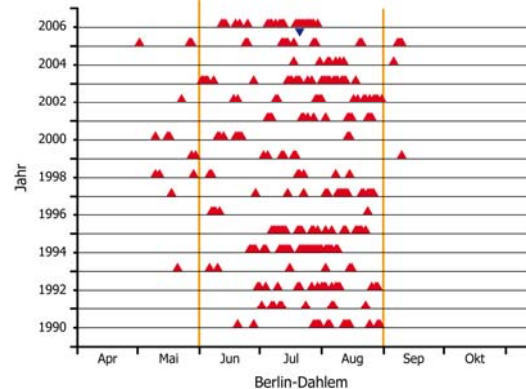


Abb. A1.27: Tage pro Jahr, an denen an der Station Berlin-Dahlem die Gefühlte Temperatur zu den Messzeiten 09:00, 12:00 oder 15:00 den Wert von 32°C (▲) bzw. zu den Messzeiten 00:00 oder 03:00 den Wert 20°C (▼) überschreitet.

[Darstellung: K. Gabriel]

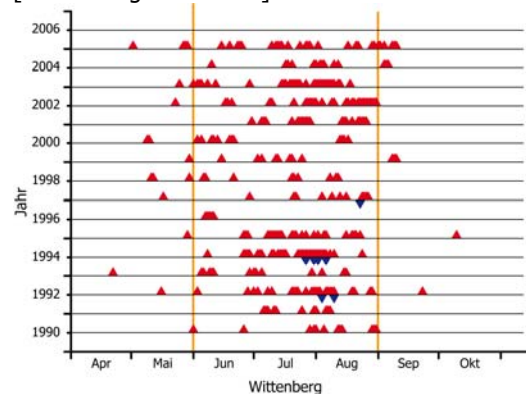


Abb. A1.29: Tage pro Jahr, an denen an der Station Wittenberg die Gefühlte Temperatur zu den Messzeiten 09:00, 12:00 oder 15:00 den Wert von 32°C (▲) bzw. zu den Messzeiten 00:00 oder 03:00 den Wert 20°C (▼) überschreitet.

[Darstellung: K. Gabriel]

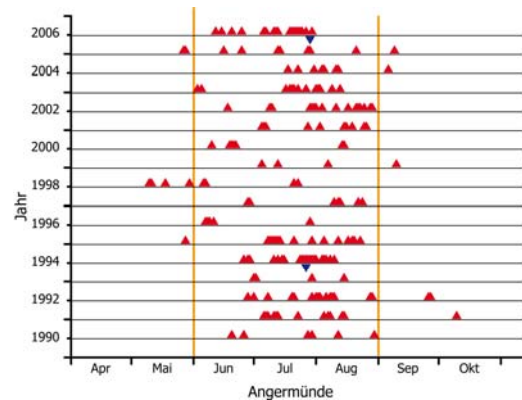


Abb. A1.26: Tage pro Jahr, an denen an der Station Angermünde die Gefühlte Temperatur zu den Messzeiten 09:00, 12:00 oder 15:00 den Wert von 32°C (▲) bzw. zu den Messzeiten 00:00 oder 03:00 den Wert 20°C (▼) überschreitet.

[Darstellung: K. Gabriel]

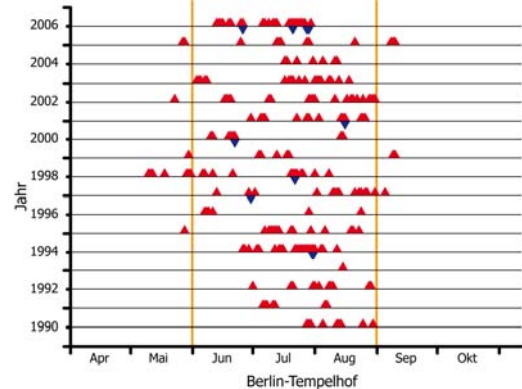


Abb. A1.28: Tage pro Jahr, an denen an der Station Berlin-Tempelhof die Gefühlte Temperatur zu den Messzeiten 09:00, 12:00 oder 15:00 den Wert von 32°C (▲) bzw. zu den Messzeiten 00:00 oder 03:00 den Wert 20°C (▼) überschreitet.

[Darstellung: K. Gabriel]

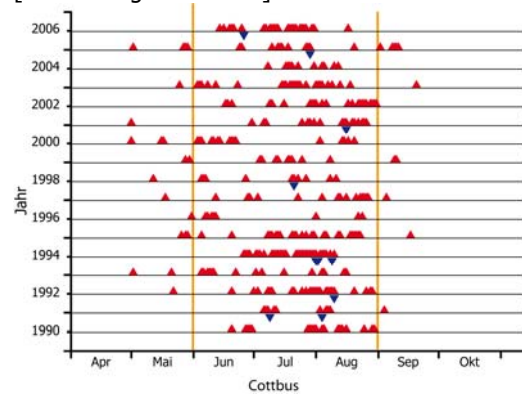


Abb. A1.30: Tage pro Jahr, an denen an der Station Cottbus die Gefühlte Temperatur zu den Messzeiten 09:00, 12:00 oder 15:00 den Wert von 32°C (▲) bzw. zu den Messzeiten 00:00 oder 03:00 den Wert 20°C (▼) überschreitet.

[Darstellung: K. Gabriel]

A1.3.2 Auftreten von Hitzewellen

Tab. A1-19: Hitzewellen von 1990 bis 2006 an der Station Neuruppin,
wobei gilt: $n_{\text{Tage}}: (GT_{(09:00/12:00/15:00)} \geq 32^{\circ}\text{C}) \geq 3$.

Jahr	Zeitraum	Dauer in Tagen	Auftreten hitzebelasteter Tage
1990	12.08.-15.08.	4	10.05.-30.08.
1991	06.07.-09.07.	4	01.07.-10.10.
	05.08.-07.08.	3	
1992	30.07.-01.08.	3	21.05.-26.09.
	06.08.-10.08.	5	
1993	-----	-----	02.05.-15.08.
1994	26.06.-29.06.	4	24.05.-22.08.
	13.07.-16.07.	4	
	21.07.-01.08.	12	
	03.08.-06.08.	4	
1995	07.07.-10.07.	4	07.06.-17.09.
	12.07.-14.07.	3	
	17.08.-20.08.	4	
1996	07.06.-09.06.	3	19.05.-22.08.
1997	09.08.-14.08.	6	29.06.-05.09.
	24.08.-27.08.	4	
1998	-----	-----	10.05.-28.09.
1999	18.07.-20.07.	3	05.07.-10.09.
	08.09.-10.09.	3	
2000	19.06.-21.06.	3	10.05.-15.08.
	13.08.-05.08.	3	
2001	05.07.-07.07.	3	17.06.-26.08.
	23.07.-25.07.	3	
	28.07.-30.07.	3	
	15.08.-17.08.	3	
	23.08.-26.08.	4	
2002	29.07.-01.08.	4	23.05.-29.08.
	25.08.-29.08.	5	
2003	01.08.-05.08.	5	25.05.-18.08.
	07.08.-09.08.	3	
	11.08.-13.08.	3	
2004	04.09.-06.09.	3	18.07.-06.09.
2005	12.07.-15.07.	4	27.05.-09.09.
	07.09.-09.09.	3	
2006	12.06.-16.06.	5	12.06.-10.10.
	19.06.-21.06.	3	
	06.07.-08.07.	3	
	11.07.-13.07.	3	
	19.07.-30.07.	12	

Anhang 1– Diagramme und Tabellen zur Hitzebestimmung

Tab. A1-26: Hitzewellen von 1990 bis 2006 an der Station Angermünde,
wobei gilt: $n_{\text{Tage}}: (GT_{(09:00/12:00/15:00)} \geq 32^{\circ}\text{C}) \geq 3$.

Jahr	Zeitraum	Dauer in Tagen	Auftreten hitzebelasteter Tage
1990	-----	-----	20.06.-30.08.
1991	06.07.-08.07. 11.07.-13.07.	3 3	06.07.-10.10.
1992	01.08.-03.08. 08.08.-10.08.	3 3	28.06.-27.09.
1993	-----	-----	01.07.-15.08.
1994	24.07.-01.08. 04.08.-06.08.	9 3	26.06.-10.08.
1995	08.07.-14.07.	7	28.05.-23.08.
1996	07.06.-09.06.	3	07.06.-29.07.
1997	-----	-----	28.06.-24.08.
1998	-----	-----	10.05.-23.07.
1999	-----	-----	05.07.-10.09.
2000	19.06.-22.06.	4	10.06.-15.08.
2001	05.07.-07.07.	3	05.07.-26.08.
2002	29.07.-01.08. 21.08.-23.08.	4 3	18.06.-29.08.
2003	19.07.-21.07. 01.08.-03.08.	3 3	03.06.-13.08.
2004	-----	-----	18.07.-06.09.
2005	-----	-----	27.05.-09.09.
2006	11.07.-13.07. 19.07.-25.07.	3 7	12.06.-30.07.

Tab. A1-27: Hitzewellen von 1990 bis 2006 an der Station Berlin-Dahlem,
wobei gilt: $n_{\text{Tage}}: (GT_{(09:00/12:00/15:00)} \geq 32^{\circ}\text{C}) \geq 3$.

Jahr	Zeitraum	Dauer in Tagen	Auftreten hitzebelasteter Tage
1990	28.07.-31.07. 12.08.-15.08.	4 4	20.06.-30.08.
1991	-----	-----	02.07.-23.08.
1992	01.08.-03.08. 08.08.-10.08.	3 3	30.06.-29.08.
1993	-----	-----	21.05.-16.08.
1994	26.06.-29.06. 11.07.-16.07. 21.07.-01.08. 03.08.-06.08.	4 6 12 4	26.06.-09.08.
1995	07.07.-14.07.	8	07.07.-23.08.

Anhang 1– Diagramme und Tabellen zur Hitzebestimmung

	20.07.-22.07. 18.08.-21.08.	3 4	
1996	07.06.-09.06.	3	07.06.-24.08.
1997	09.08.-14.08. 24.08.-27.08.	6 4	18.05.-27.08.
1998	-----	-----	10.05.-15.08.
1999	-----	-----	28.05.-10.09.
2000	19.06.-22.06.	4	10.05.-15.08.
2001	05.07.-07.07. 14.08.-16.08. 24.08.-26.08.	3 3 3	05.07.-26.08..
2002	29.07.-01.08. 27.08.-29.08.	4 3	23.05.-31.08.
2003	02.06.-05.06. 15.07.-17.07. 19.07.-21.07. 01.08.-05.08. 07.08.-09.08. 11.08.-13.08.	4 3 3 5 3 3	02.06.-18.08.
2004	-----	-----	18.07.-06.09.
2005	12.07.-15.07. 08.09.-10.09.	4 3	02.05.-10.09.
2006	12.06.-14.06. 05.07.-07.07. 11.07.-13.07. 19.07.-28.07.	3 3 3 10	12.06.-30.07.

Anhang 1– Diagramme und Tabellen zur Hitzebestimmung

Tab. A1-28: Hitzewellen von 1990 bis 2006 an der Station Berlin-Tempelhof,
wobei gilt: $n_{\text{Tage}}: (GT_{(09:00/12:00/15:00)} \geq 32^{\circ}\text{C}) \geq 3$.

Jahr	Zeitraum	Dauer in Tagen	Auftreten hitzebelasteter Tage
1990	28.07.-30.07.	3	28.07.-30.08.
	12.08.-14.08.	3	
1991	06.07.-08.07.	3	06.07.-07.08.
1992	08.08.-10.08.	3	01.07.-29.08.
1993	-----	-----	15.08.
1994	14.07.-16.07.	3	26.06.-12.08.
	22.07.-01.08.	11	
1995	09.07.-14.07.	6	28.05.-23.08.
1996	07.06.-09.06.	3	07.06.-24.08.
1997	10.08.-13.08.	4	13.06.-05.09.
1998	10.05.-12.05.	3	10.05.-08.08.
	29.05.-31.05.	3	
	20.07.-23.07.	4	
1999	-----	-----	30.05.-10.09.
2000	19.06.-22.06.	4	10.06.-15.08.
2001	05.07.-07.07.	3	30.06.-26.08.
	14.08.-16.08.	3	
	24.08.-26.08.	3	
2002	17.06.-20.06.	4	23.05.-31.08.
	29.07.-01.08.	4	
	28.08.-31.08.	4	
2003	03.06.-05.06.	3	03.06.-18.08.
	19.07.-21.07.	3	
	01.08.-04.08.	4	
2004	-----	-----	17.07.-12.08.
2005	13.07.-15.07.	3	27.05.-10.09.
	08.09.-10.09.	3	
2006	13.06.-16.06.	4	13.06.-30.07.
	11.07.-13.07.	3	
	19.07.-27.07.	9	

Anhang 1– Diagramme und Tabellen zur Hitzebestimmung

Tab. A1-29: Hitzewellen von 1990 bis 2006 an der Station Wittenberg,
wobei gilt: $n_{\text{Tage}}: (GT_{(09:00/12:00/15:00)} \geq 32^{\circ}\text{C}) \geq 3$.

Jahr	Zeitraum	Dauer in Tagen	Auftreten hitzebelasteter Tage
1990	12.08.-14.08.	3	01.06.-31.08.
	29.08.-31.08.	3	
1991	06.07.-08.07.	3	06.07.-08.08.
	06.08.-08.08.	3	
1992	20.07.-23.07.	4	16.05.-23.09.
	30.07.-03.07.	5	
	06.08.-10.08.	5	
1993	09.06.-11.06.	3	22.06.-16.08.
1994	26.06.-29.06.	4	08.06.-24.08.
	03.07.-05.07.	3	
	13.07.-17.07.	5	
	23.07.-06.08.	15	
1995	26.06.-28.06.	3	29.05.-10.10.
	08.07.-15.07.	8	
	20.07.-22.07.	3	
	19.08.-21.08.	3	
1996	07.06.-11.06.	5	07.06.-11.06.
1997	24.08.-27.08.	4	17.05.-27.08.
1998	-----	-----	11.05.-12.08.
1999	08.09.-10.09.	3	30.05.-10.09.
2000	19.06.-21.06.	3	09.05.-17.08.
	13.08.-15.08.	3	
2001	05.07.-07.07.	3	30.06.-26.08.
	23.07.-29.07.	7	
	14.08.-16.08.	3	
	22.08.-26.08.	5	
2002	27.07.-01.08.	6	23.05.-31.08.
	22.08.-31.08.	10	
2003	03.06.-05.06.	3	25.05.-18.08.
	15.07.-17.07.	3	
	19.07.-24.07.	6	
	31.07.-10.08.	11	
2004	03.08.-05.08.	3	10.06.-06.09.
	04.09.-06.09.	3	
2005	27.05.-29.05.	3	02.05.-10.09.
	23.06.-25.06.	3	
	12.07.-15.07.	4	
	27.07.-29.07.	3	
	08.09.-10.09.	3	
2006	NO DATA	NO DATA	NO DATA

Anhang 1– Diagramme und Tabellen zur Hitzebestimmung

Tab. A1-30: Hitzewellen von 1990 bis 2006 an der Station Cottbus,
wobei gilt: $n_{\text{Tage}}: (GT_{(09:00/12:00/15:00)} \geq 32^{\circ}\text{C}) \geq 3$.

Jahr	Zeitraum	Dauer in Tagen	Auftreten hitzebelasteter Tage
1990	27.06.-30.06.	4	20.06.-30.08.
	28.07.-01.08.	5	
	12.08.-14.08.	3	
1991	06.07.-08.07.	3	06.07.-04.09.
	06.08.-08.08.	3	
1992	08.07.-10.07.	3	22.05.-29.08.
	29.07.-03.08.	6	
	06.08.-10.08.	5	
1993	08.06.-11.06.	4	21.05.-16.08.
1994	26.06.-29.06.	4	26.06.-10.08.
	02.07.-04.07.	3	
	10.07.-17.07.	8	
	22.07.-01.08.	11	
	03.08.-06.08.	4	
1995	08.07.-10.07.	3	26.05.-17.09.
	12.07.-14.07.	3	
	20.07.-22.07.	3	
	18.08.-23.08.	6	
1996	10.06.-12.06.	3	31.05.-24.08.
1997	23.08.-27.08.	5	18.05.-05.09.
1998	05.06.-07.06.	3	12.05.-11.08.
1999	18.07.-20.07.	3	28.05.-10.09.
2000	03.06.-05.06.	3	01.05.-20.08.
	19.06.-22.06.	4	
2001	14.08.-16.08.	3	20.05.-26.08.
	24.08.-26.08.	3	
2002	29.07.-01.08.	4	17.06.-31.08.
	22.08.-26.08.	5	
	28.08.-31.08.	4	
2003	03.06.-05.06.	3	25.05.-20.09.
	15.07.-17.07.	3	
	19.07.-24.07.	6	
	01.08.-04.08.	4	
2004	17.07.-20.07.	4	08.07.-12.08.
2005	27.05.-29.05.	3	02.05.-11.09.
	13.07.-15.07.	3	
	27.07.-29.07.	3	
	08.09.-11.09.	4	
2006	19.06.-21.06.	3	14.06.-17.08.
	09.07.-13.07.	5	
	18.07.-22.07.	5	
	24.07.-27.07.	4	

A2. Wetterlagen

A2.1. Sommer 1993

A2.1.1. Witterung

Juli:

"Der Juli war nach den Monatswerten bei unterdurchschnittlicher Sonnenscheindauer zu kalt und zu nass."

"Vom 23. bis 31. überquerten die Randtiefs eines umfangreichen Tiefdrucksystems über Nordeuropa und dem Nordatlantik Deutschland. Dadurch wurden mit teils stürmischer westlicher, später südwestlicher Strömung im Wechsel kühle und milde Meeresluft, überwiegend aber atlantische Tropikluft nach Deutschland geführt. Verbreitet kam es zu Regen sowie zu Gewitter, auch mit Graupel-, Hagelschauern und örtlichen Starkniederschlägen. Am 23. und 29. beschränkte sich die Niederschlagstätigkeit weitgehend auf den Norden." [DWD 41(7): 1]

"Zu warm war es nur in Teilen der Niederrheinischen Bucht, z.T. zwischen Mosel und Nahe, im Breisgau, bei Fulda sowie in einem ca. 50 km breiten Streifen von Marburg über Frankfurt a.M. bis zum Altmühltal. Sonst war es zu kalt;" [DWD 41(7): 2]

August:

"Der August war nach den Monatswerten bei in der Norddeutschen Tiefebene unterdurchschnittlicher [...] Sonnenscheindauer, nördlich von Mosel-Main zu kalt, [...] südlich der Donau zu nass, sonst zu trocken, in Mecklenburg-Vorpommern wurde das Niederschlagssoll erreicht."

"Der Witterungsverlauf vom 01. bis 05. gestalteten ein von Irland nach Skandinavien ziehendes Tief und ein Hochdruckgebiet über Osteuropa. Im Bereich geringer Luftdruckgegensätze entstand über Deutschland eine quasistationäre Bodenfront, die stabil geschichtete Meeresluft im Norden von feuchtwarmer und labiler Meeresluft im Süden trennte. Von Südosten setzte sich zeitweilig mäßig warme Festlandsluft durch."

"Vom 06. bis 13. überquerten mit häufig stürmischer westlicher Strömung die Ausläufer nordatlantischer Tiefdruckgebiete Mitteleuropa. Sie führten im Wechsel kühle oder milde Meeresluft nach Deutschland. [...] Dabei kam es am 06. und 07. vorwiegend im Norden, vom 08. bis 10. verbreitet, am 11. und 12. gebietsweise zu Regen, Regenschauer und Gewitter mit vereinzelt Starkniederschlägen (List/Sylt 40 mm am 12.) [...]. [...] Vom 06. bis 09. wurden im Norden, am 10. im Osten und im Alpenvorland, am 11. und 12. im Norden gebietsweise weniger als eine Stunde oder kein Sonnenschein registriert."

"Vom 14. bis 16. verlagerte sich ein umfangreiches Bodenhoch von Mittel- nach Osteuropa. Auf seiner Westflanke floss Mittelmeerluft nach Deutschland ein, die den äußeren Norden nicht erreichte. Im Süden setzte sich später milde Festlandsluft durch, während am 16. im Norden grönländische Polarluft vorherrschte."

Vom 17. bis 22. erreichten atlantische Tiefausläufer mit grönländischer Polarluft meist nur den Norden Deutschlands, während im Süden Hochdruckeinfluss mit milder Festlandsluft vorherrschte, die am 19.

vorübergehend ganz Deutschland erfasste. Deshalb beschränkten sich Regen und Regenschauer auf den Norden und Osten, im Süden entwickelten sich einzelne Wärmegewitter." [DWD 41(8): 1]

A2.1.2. Wetter

Großwetterlagen (GWL):

Wz Westlage, zyklonal

Wa Westlage, antizyklonal

SWz Südwestlage, zyklonal

SWa Südwestlage, antizyklonal

Tag	Abweichung vom Mittel [K]		GWL
27.07.		Zwischen hohem Luftdruck über den Azoren und der Iberischen Halbinsel sowie einem umfangreichen Tiefdruckkomplex über Island und der Norwegischen See hat sich entlang des 50. Breitenkreises eine kräftige westliche Strömung eingestellt. [...] In einer solchen großräumigen westlichen Strömung bilden sich durch Instabilitäten wiederholt wellenförmige Störungen aus, die am Boden als Randtiefs zu erkennen sind. Die damit verbundenen Frontensysteme verursachen Niederschläge und sorgen in Mittel- und Nordeuropa für einen wechselhaften, meist kühlen Witterungsverlauf. Ein derartiges Frontensystem erkennt man in der Bodenwetteranalyse über Westeuropa.	
28.07.	-2 bis 1	Im Norden trat mit Durchzug des über Polen und Westrussland liegenden Höhentrog wolkiges Wetter mit Schauern und Gewittern auf.	Wz
29.07.	bis 5	Durch die Südwärtsverlagerung des hochreichenden Tiefs nordöstlich von Island schwenkte der ostatlantische Höhentrog unter Verschärfung ostwärts, so dass die zonale Strömung in der Höhe über Mitteleuropa eine meridionale Ausrichtung bekam. Damit gelangte zwar wieder wärmere Luft aus SW-Europa nach Mitteleuropa, die dichte Warmfrontbewölkung sorgte in der Nordhälfte jedoch für starke Bewölkung oder Bedeckung, und vereinzelt fiel Regen.	
30.07.	-1 bis 7	Verstärkung der meridionalen Strömung und dadurch Verstärkung der Temperaturunterschiede: Als Folge entstand ein Gewittergebiet mit z.T. orkanartigen Böen.	SWz
31.07.	bis -4	Die langgestreckte, leicht wellende Kaltfront eines Zentraltiefs über der Norwegischen See überquerte bis zum Nachmittag mit ihrem Regenband ganz Deutschland von West nach Ost. Auf ihrer Rückseite strömte von Westen her frische Meeresluft nach Deutschland ein. Die Tagestemperaturen lagen über Deutschland im Durchschnitt um 10 K niedriger als am Vortag.	
01.08.	-3 bis 2	In der Mitte Deutschlands wurde es im allgemeinen 21 bis 24°C warm.	
02.08.	bis 4	An der Südwestflanke der Kaltfront der Zentralzyklone über Irland und Schottland strömt kühle Meeresluft nach Südosten.	
03.08.	-2 bis 5	Langwelliger Höhentrog mit einer Achse von Irland bis zur portugiesischen Küste. In diesen Trog sind einzelne kürzere Wellen eingebettet.	

04.08.		Auffällig geringe Luftdruckgegensätze kennzeichneten das Bild der Bodenwetterkarte: quer über Mitteleuropa verläuft eine quasistationäre Bodenfront, die feuchtwarme, labile Meeresluft im Süden von weniger feuchter, stabil geschichteter Meeresluft im Norden trennt. Ihre Wetterwirksamkeit ist jedoch gering.	
05.08.		Entwicklung einer Zyklone über der Deutschen Bucht: Der Höhentrog wandelte sich in ein Höhentief mit nahezu senkrechter Achse.	
06.08.	bis -5	Durchzug der zum Höhentief gehörenden Fronten, wobei besonders an der Vorderseite des Troges starke Hebungsvorgänge auftraten. Hinter der Kaltfront strömte von der Nordsee her kühle Meeresluft nach Deutschland.	Wz
07.08.	-3 bis 3	In Norddeutschland war es im Bereich der schwachen Warmfront meist stärker bewölkt, und hier regnete es auch etwas.	
08.08.		Die für diese Jahreszeit ungewöhnlich stark ausgebildete Frontalzone über dem Atlantik trennt kalte Polarluft von warmer Subtropikluft relativ weit im Süden. In ihr sind Störungsausläufer eingebettet, die in rascher Abfolge Nord-, Mittel- und Osteuropa überqueren.	
09.08.		Auf der Südostseite eines nördlich von Schottland und über dem nördlichen Nordmeer gelegenen, umfangreichen Tiefdruckkomplexes stellte sich über Mitteleuropa eine westliche Strömung ein. Dabei wurden mäßig warme atlantische Luftmassen herangeführt, die bei nur geringer relativen Feuchte und beim Fehlen von organisierter, großräumiger Vertikalbewegung nur diffuse Wolkenfelder produzierten. Gegen Mittag erreichte das umfangreiche Hebungsgebiet eines atlantischen Frontensystems den Nordwesten Deutschlands. Es breitete sich mit kompakten, hochreichenden Wolken und Regenfällen über ganz Deutschland aus.	
10.08.	bis -4	Regen und Gewitter prägten das Wettergeschehen in Deutschland. Die Tageshöchstwerte lagen vielerorts unter 20°C.	
11.08.	-4 bis 5	An der Westflanke der umfangreichen Zentralzyklone östlich von Island wird immer wieder Kaltluft polaren Ursprungs nach über den Atlantik nach Südosten transportiert, so dass sich die Frontalzone über dem Nordatlantik und Mitteleuropa ständig regenerieren kann. Wechselhaftes und kühles Wetter über dem Norden und der Mitte Europas ist die Folge.	
12.08.		Rückseitig einer über Deutschland und Frankreich liegenden Kaltfront fließt über die Nordsee ein Schwall kühler Meeresluft nach Mitteleuropa.	
13.08.		Die hinter der Front eingeströmte kühle Meeresluft gelangte unter Absinken. Das hatte den Aufbau einer kräftigen Antizyklone am Boden zur Folge, die inzwischen das Wetter im größten Teil Mitteleuropas beeinflusst.	
14.08.	bis 7	Verlagerung des Bodenhochs nach Osteuropa, dadurch an seiner Westflanke südliches Einströmen warmer Luft vom westlichen Mittelmeer und Oberitalien.	SWa
15.08.		Beilage 77/1993	
16.08.		Mäandrierende Höhenströmung über dem Nordatlantik mit einem deutlich ausgeprägten Trog südlich von Grönland und über Jütland. Im Bereich des	

		dazwischen liegenden Höhenkeils wird Warmluft in Richtung Island geführt. Eine von der Nordsee kommende Kaltfront brachte auf ihrer Rückseite einen Temperaturrückgang, zeigte sonst aber keine größere Wetterwirksamkeit. An einer Konvergenzlinie bringen im Raum Sachsen und im südlichen Brandenburg einzelne Gewitter örtlich ergiebige Niederschläge.	
17.08.	-5 bis 9	Die absolute Topographie 500 hPa zeigt eine schwach mäandrierende westliche Höhenströmung entlang einer zonal verlaufenden baroklinen Zone bei etwa 50° nördlicher Breite. Deutlicher Luftmassenwechsel durch die gestrige Kaltfront, dadurch Höchsttemperaturen nur von 17 bis 23°C.	Wa

A2.2. Sommer 1994

A2.2.1. Witterung

Juli:

„Vom 18. bis 25. setzte sich an der Südseite eines skandinavischen Hochs eine nordöstliche Strömung durch.“ [DWD 42(7): 1]

18.-22.07. im N arktische Polarluft, die danach (23.-25.07.) von aus nordöstlicher Richtung einströmender warmer Festlandsluft verdrängt wurde.

„Vom 26. bis 31. entwickelte sich aus einer Hochdruckbrücke über Mitteleuropa eine langgestreckte, von Nordskandinavien bis nach Rumänien reichende Hochdruckzone.“ [DWD 42(7): 1]

Schwache südliche Strömung an der Westflanke, wobei die anfangs vorherrschende atlantische Tropikluft durch warme Festlandsluft verdrängt wurde. „Zum Monatsende hin setzte sich von Süden zunehmend feucht-warme Mittelmeerluft durch.“ [DWD 42(7): 1]

„Im Norden und Osten wurden an einigen Stationen vom 26. bis 31. die bisher höchsten Maxima der Lufttemperatur überschritten.“ [DWD 42(7): 2]

„Der Abschnitt vom 10. bis 31. zeigte sich [im Verlauf der Mitteltemperaturen gegenüber dem vieljährigen Durchschnitt] verbreitet um bis zu 11 K zu warm.“ [DWD 42(7): 2]

August:

„Den Witterungsverlauf vom 01. bis 05. bestimmte eine schwachgradientige Hochdruckzone, die sich aus dem skandinavischen Raum bis zum Mittelmeer erstreckte. Unter ihrem Einfluss gelangte anfangs feucht-warme Mittelmeerluft, später mäßig warme Festlandsluft nach Deutschland. Eine nach Osten abziehende Kaltfront brachte am 01. mit mäßig warmer Meeresluft verbreitet Schauer und Gewitter mit vereinzelt Starkniederschlägen (Leipzig 52 mm am 01.).“ [DWD 42(8): 1]

„Vom 06. bis 10. entstand zwischen einem Hochdruckgebiet, das sich zwischen Schottland und Island aufbaute und einer weiteren Hochdruckzone über Osteuropa im Norden Deutschlands eine nordwestliche Strömung, mit der anfangs mäßig warme Meeresluft einfluss. Später setzte sich

allgemein milde Festlandsluft durch. Zum Ende des Witterungsabschnittes beeinflusste ein von der Biskaya zum Mittelmeer ziehendes Tief mit atlantischer Tropikluft den Süden.“ [DWD 42(8): 1]

„Nach dem Temperaturverlauf war es vom 01. bis 10. allgemein [gegenüber den vieljährigen Mittelwerten] bis nahe 12 K zu warm.“ [DWD 42(7): 2]

A2.2.2. Wetter

Es fehlten über dem Atlantik und über Europa markante meridionale Temperaturgegensätze, die Frontalzone mit rasch nach Osten ziehenden Tiefdruckgebieten ist weit nach Norden verschoben und reicht von Labrador über Island bis nach Spitzbergen.

Großwetterlagen (GWL):

NEz	Nordostlage, zyklonal	NEa	Nordostlage, antizyklonal
BM	Hochdruckbrücke Mitteleuropa	Sa	Südlage, antizyklonal
HNa	Hoch Nordmeer, antizyklonal		

Tag	Abweichung vom Mittel		GWL
21.07.	Bis 11 K	Ausgeprägtes Tief über dem Ostatlantik lenkt großräumig Warmluft bis in die obere Troposphäre, was den Aufbau eines sich bis in höhere Schichten erstreckenden Hochkeils bewirkt, in dessen Absinkbereich sich die Wolken dann auflösten. Dieses Hoch dehnte sich vor allem in meridionaler Richtung aus und erweiterte damit den Einfluss der trockenen Luft von Skandinavien bis ins südliche Mitteleuropa. Gleichzeitig kündigt sich über dem Atlantik ein in kältere Regionen gerichteter Transport von Warmluft an.	NEz
22.07.		Höhenrücken über ganz Mitteleuropa, absinkende Luftbewegung, flache Druckverteilung.	NEa
23.07.		Hochreichendes, blockierendes Hochdruckgebiet, flankiert von zwei Höhentritten (Omegasituation).	
24.07.		Omega-Wellenmuster der Höhenströmung. Leichte Ostverlagerung des Höhenkeils: Zentrum des Bodendruckfeldes verschiebt sich von Norwegen nach Schweden.	
25.07.		Mitteleuropäischer Höhenkeil bleibt bestehen, jedoch weisen überlagerte kleinräumige Strukturen eine erkennbare Veränderung auf, wodurch es im Westen regnet, in den neuen Bundesländern die Luft für Niederschlagsbildung aber noch zu trocken ist.	
26.07.		Höhentrog auf der nordöstlichen Seite des Höhenkeils führt in Verbindung mit labiler Schichtung und bodennaher Konvergenz zum Durchzug eines Gewitters.	BM
27.07.		Wenig Änderung an den großräumigen Druckverhältnissen am Boden und in der Höhe: leichte Ostverlagerung des ostatlantischen Höhentrog, der Hochkeil über Mitteleuropa bleibt ortsfest, schwächt sich leicht ab.	
28.07.		Mittlerweile dauert die hochsommerliche Witterungsphase – von kurzen	

		Unterbrechungen abgesehen – fast 40 Tage. Während im Westen Europas bei hohen Taupunktstemperaturen (= unangenehm schwül) Gewitter auftreten, bleibt es in Nord- und Ostdeutschland heiß.	
29.07.		Der Osten Deutschlands bleibt durchgehend gering bewölkt mit neuen Temperaturrekorden.	
30.07.		Meridionaler, langgestreckter Höhenrücken über dem östlichen Mitteleuropa durch umfangreichen Vorstoß schwül-heißer Luft bis nach Südengland und Südsandinavien. Zunehmend Instabilität durch Einfließen kälterer Luft nach Nordosten in den mittleren und höheren Lagen.	Sa
31.07.		Kräftiger Höhenrücken über Mittel- und Teilen Osteuropas, auf dessen Westflanke sehr warme Luft ins zentrale Mitteleuropa einfließt. Am wärmsten wird es wieder im Nordosten Deutschlands. Während die Lufttemperatur in Cottbus ein Tagesmaximum von 38,0°C und in Berlin-Tempelhof ein Tagesmittel von 29,5°C erreicht, werden in Kairo und Tunis nur Maxima von 34°C erreicht.	
01.08.	Bis 12 K	Eine sich von Westen nach Osten verlagernde Kaltfront erreicht die Osthälfte Deutschlands jedoch erst in der Nacht, so dass die Sonne hier tags die Warmluft wieder auf Rekordtemperaturen erhitzen kann.	
02.08.		Der nächtliche Frontendurchgang und das Einfließen kühlerer Luft führt zu einem Absinken der Temperaturen um bis zu 10 K.	
03.08.		Weiterhin meridionale Höhenströmung mit einem von Algerien über Mitteleuropa nach Nordwestrussland verlaufenden Höhenkeil. Wieder steigende Temperaturen.	
04.08.		Ungewöhnlich hohe Temperaturen bis in große Höhen: Die Frostgrenze steigt auf etwa 4500 Meter Höhe.	
05.08.		Langsame Verlagerung des mitteleuropäischen Höhenrückens nach Osten.	
06.08.	Bis 7 K	Weitere Verlagerung ostwärts und langsame Abschwächung des Höhenrückens, Luftmassengrenze über Deutschland. Durchzug einer Gewitterfront im Osten.	HNa
07.08.		Luftmassengrenze über der Mitte Deutschlands und Frankreichs: Feucht-warm, labil geschichtete Luftmassen im Süden und der Mitte, im Norden kühl.	
08.08.		Weiter quasistationäre Lage der zonal ausgerichteten Luftmassengrenze, wobei der Norden am Abend unter den Einfluss eines Hochs über Schottland gerät.	
09.08.		Über Ostdeutschland macht sich der Einfluss eines Höhentrogas mit Gewittern und zum Teil heftigen Niederschlägen bemerkbar.	
10.08.		Im Nordosten Deutschlands ist es unter dem Einfluss eines Höhenkeils wechselnd bewölkt, niederschlagsfrei und mit Temperaturen bis 28°C nochmals sommerlich warm bei angenehm tiefen Taupunkten.	
11.08.	-2 bis 3 K	Temperaturen im Norden und Osten teilweise unter 20°C	Nz

A2.3. Sommer 1997

A2.3.1. Witterung

August:

„Vom 03. bis 21. dominierte hoher Luftdruck über dem fennoskandischen Raum. Davon ausgehend erreichten Hochdruckbrücken die Adria. Die Frontensysteme atlantischer Tiefdrucksysteme und aus dem Balkanraum konnten Deutschland nur in abgeschwächter Form beeinflussen. Die anfangs im Norden lagernde grönländische und russische Polarluft wurde zunehmend von milder Festlandsluft, zeitweise von Tropikluft verdrängt. Dabei traten im Stau von Gebirgen örtlich begrenzte Starkniederschläge auf, stellenweise mit Gewittern und Hagel mit Korngrößen bis 2 cm Durchmesser (Gr. Arber 52 mm und Fürstenzell bei Passau 32 mm jeweils am 08.). Nach einem Vorstoß grönländischer Polarluft vom 14. bis 16. verlagerte sich ab 17. ein umfangreiches Hochdruckgebiet aus dem fennoskandischen Raum nach Osteuropa. Unter seinem Einfluss konnte sich wieder milde Festlandsluft allgemein durchsetzen.“ [DWD 45(8): 1]

„Vom 22. bis 25. erstreckte sich, ausgehend von einem osteuropäischen Hoch, eine Hochdruckbrücke über Mitteleuropa hinweg bis zum Mittelmeer. Unter ihrem Einfluss erreichte überwiegend atlantische Tropikluft Deutschland.“ [DWD 45(8): 1]

„Vom 26. bis 29. drangen auf der Vorderseite eines Tiefs bei den Britischen Inseln die zugehörigen Fronten mit vorlaufenden Gewitterlinien nach Deutschland vor. Im Wechsel flossen milde Festlandsluft, atlantische Tropikluft und grönländische Polarluft ein, letztere erfasste am 29. das ganze Bundesgebiet.“ [DWD 45(8): 1]

„Vom 07. bis 27. setzte sich eine allgemeine Erwärmung bis um 8 K durch, mit einer markanten Warmphase vom 08. bis 13. und einer weiteren kräftigen Erwärmung vom 23. bis 25., dabei traten am 25. nicht nur die höchsten Abweichungen (Schwerin 10,8 K), sondern häufig auch die höchsten Temperaturmaxima des Monats auf.“ [DWD 45(8): 2]

A2.3.2. Wetter

Großwetterlagen (GWL):

HFa Hoch Fennoskandien, antizyklonal BM Hochdruckbrücke Mitteleuropa

TB Tief Britische Inseln

Tag	Abweichung vom Mittel		GWL
08.08.	Bis 11 K	Ein weit nach Norden gerichteter Warmluftvorstoß sorgt für ein geringes Temperaturgefälle zwischen Südeuropa (30°C) und Nordnorwegen (27°C), verursacht durch ein kräftiges Tief über dem Europäischen Nordmeer mit Kern östlich von Jan Mayen; Höhentief über dem Osten und dem Süden Deutschlands mit heftigen Schauern als Folge.	HFa
09.08.		Allgemein Hochdruckeinfluss, aber über Ostdeutschland ein Randtrog des osteuropäischen Höhentiefs als Ursache für Gewitter.	
10.08.		Nahezu stationärer Hochdruckrücken über Deutschland mit einer von Russland	

		über den Ostseeraum bis zum Nordmeer reichenden Boden-Hochdruckzone. Von Osten Einfließen von trockner Luft.	
11.08.		Stabiles Tief westlich von Irland sorgt für Stärkung des über Mitteleuropa liegenden Höhenrückens durch Warmluftadvektion. Über Mitteleuropa sehr trockene Luftmassen wetterbestimmend.	
12.08.		Tief westlich von Irland bleibt stabil, über dem mitteleuropäischen Festland herrschen nur geringe Luftdruckgegensätze. Über Deutschland, Polen und zunächst auch noch Südkandinavien ein Höhenrücken, der über letzterem durch Einströmen kalter Luft / eines Höhentrog abgebaut wurde.	
13.08.		Über Westeuropa bis nach Hannover zieht ein Höhentrog, hinzu kommen zwei konvergierende Luftströmungen – Ostdeutschland ist davon aber nicht betroffen.	
14.08.		Omega-Wetterlagen zeigen eine gewisse Erhaltungstendenz – aktuell liegt eine vor. Im Westen und Süden entstehen durch flache Hitzetiefs örtliche Gewitter, der Osten bleibt unbeeinflusst.	
15.08.		Deutschland liegt am Rande eines Hochdruckgebietes, das von den Azoren über die Nordsee bis nach Skandinavien reicht und durch die Südströmung eines Tiefs vor Irland gestützt wird. Nordwestliche Strömung führt recht feuchte Luftmassen von der Nordsee heran.	
16.08.		Im nördlichen Mitteleuropa und in Skandinavien bleibt der Höhenkeil wetterwirksam, während von der Bretagne bis über die Alpen eine Front zieht.	
17.08.		Der Keil ändert seine Lage nur wenig, bleibt wetterbestimmend und führt trocken-warme Festlandsluft über Finnland und Polen in den Norden und Osten Deutschlands.	
18.08.		Über Ostdeutschland hohe bis mittelhohe Wolkenfelder mit konvektiver Durchsetzung, durch labile Luftschichtung bei überlagerter großräumiger Hebung (aufgrund leichter Warmluftadvektion).	
19.08.		Tiefdruckrinne vom westlichen Balkan bis nach Süditalien innerhalb des mächtigen Höhenkeils sorgt für Wolkenbildung von Osnabrück bis Hof.	
20.08.		Wieder ein kräftiges Tief vor Island, das mit Warmluftzufuhr das Hoch über dem östlichen Mitteleuropa und Russland stützt.	
21.08.		Wetterbestimmend sind das osteuropäische Hoch und das Tief bei Island. In Nordostdeutschland ist die Luft weitgehend stabil geschichtet, so dass die positive Vorticityadvektion aufgrund eines Troges nicht zu konvektiven Umlagerungen führt.	
22.08.		Der Höhenrücken von der Biskaya bis zum Baltikum erfährt von NW eine Schwächung, so dass eine Kaltfront bis nach Nordwestdeutschland ziehen kann. Im Osten aber wolkenlos und Temperaturen bis über 30°C.	BM
23.08.		Umfangreiches Hochdruckgebiet über Osteuropa wetterbestimmend. Schwülwarme Luft dominierend, bewölkt.	
24.08.		Höhenkeil vom Atlantik über Frankreich bis nach Russland, der sich nur wenig abschwächt. Schwülwarme Subtropikluft über dem Kontinent.	
25.08.		Hochdruck und schwülheiße Subtropikluft über weiten Teilen des Festlandes,	

		Ostdeutschland unbeeinflusst von einer von Westen anrückenden Kaltfront.	
26.08.		Während Westdeutschland schon vom Luftmassenwechsel erfasst wird und die Temperaturen um 10 K fallen, bleibt es in Ostdeutschland noch einmal heiß.	TB
27.08.		Auf der Vorderseite des Sturmtiefs vor Irland wird mit südlicher Strömung feuchtwarmer Luft nach Deutschland geführt. Der Höhenrücken über Russland behält seine blockierende Wirkung.	
28.08.	-5 bis 7 K	Höhentrog von Irland bis zur Iberischen Halbinsel setzt sich nach Osten in Bewegung, die Kaltfront erreicht die Oder jedoch erst Nachts, so dass die Osthälfte erneut einen heißen Tag verzeichnet.	

A2.4. Sommer 2003

A2.4.1. Witterung

Juli:

„14. bis 17.: **Hoch Fennoskandien, antizyklonal:** Der Höhenhochkeil über Mitteleuropa dehnte sich nach Norden aus und verband sich mit einem Hoch über Nordskandinavien. Auf seiner Rückseite bzw. auf der Vorderseite eines ostatlantischen Trogos strömte wieder tropische Warmluft nach Deutschland. Nach täglich langer Sonneneinstrahlung und Trockenheit bei Temperaturen über 30°C (außer in Küstennähe) endete diese Periode mit dem Durchzug einer Kaltfront, die zu einem Ausläufer eines hochreichenden Atlantiktief gehörte.“ [DWD 2003-5: 2]

„Am 15. war der Pegel mancher Flüsse so niedrig (Elbe in Sachsen, Rhein abschnittsweise) dass die Schifffahrt eingestellt wurde.“ [DWD 2003-5: 4]

„18. bis 21.: **Trog Westeuropa:** hochreichendes Atlantiktief“

„22. bis 31.: **Hochdruckbrücke Mitteleuropa:** Der Westeuropäische Höhentrog flachte sich ab, so dass sich die Hochdruckzone vom Mittelmeer her ausbreiten konnte und im Bodendruckfeld wieder eine Hochdruckbrücke zustande kam. Subtropische Luftmassen strömten heran. Die Brücke wurde durch Randtiefs unterbrochen, die zum steuernden Höhentief über dem Atlantik gehörten. In der hochreichend labil geschichteten Luft befanden sich in wechselnder Anordnung Gewitterzonen neben sonnigen Gebieten. Entsprechend wechselhaft und warm war die Witterung.“

„Intensive Sonneneinstrahlung wechselte mit schauerartigen Regenfällen bzw. Gewittern.“ [DWD 2003-5(7): 2]

August:

„01. bis 04.: **Hochdruckbrücke Mitteleuropa:** Die seit dem 22. des Vormonats bestehende Hochdruckbrücke über Mitteleuropa blieb erhalten. In der Höhenwetterkarte reichte der hohe Luftdruck vom westlichen Mittelmeer bis nach Nordeuropa. Das nordatlantische Höhentief war ohne Einfluss auf unser Gebiet. In der trockenen subtropischen Luftmasse, die aus Südwesten zuströmte, wurden außergewöhnlich hohe Tagesmaxima der Luft registriert. Auch die Nächte blieben sehr warm.

„Tropennächte“ mit Temperaturen oberhalb 20°C waren keine Seltenheit. Weitere Hitzerekorde gab es am 04.“

„In der zunehmend trockenen und heißen Luft blieben diese Tage im Wesentlichen niederschlagsfrei. [...] Am 02. wurden nur aus dem äußersten Osten (Cottbus, Görlitz) und aus Aachen, am 03. aus Berlin Gewitter gemeldet.“ [DWD 2003-5(8): 2]

„05. bis 13: **Hoch Nordmeer, antizyklonal:** Ein Hoch mit Kern über der Nordsee wurde wetterbestimmend. Diese Druckverteilung änderte nichts an der Witterung. In der tropischen Luftmasse blieb es sonnenscheinreich, trocken und heiß. An der Ostflanke des Hochs strömte für kurze Zeit etwas kühlere Luft in der Höhe heran. Doch über dem erwärmten Boden stiegen die Temperaturen rasch wieder zu Höchstwerten an. Die Höhepunkte der nun folgenden neuen Hitzewelle wurden am 08. und 12./13. erreicht. Temperaturrekorde bei Tagesmaxima und nächtlichen Minima waren an der Tagesordnung.“

„Die Trockenperiode setzte sich fort. Es entstanden zwar Wolkenfelder, aber der ausfallende Niederschlag erreichte in der sehr warmen und trockenen Luft der unteren Atmosphäre nicht den Boden! Vereinzelt fiel messbarer Niederschlag in Wärmegewittern, vorwiegend in Süddeutschland und in Mittelgebirgen. Die Messhöhen waren jedoch gering.“ [DWD 2003-5(8): 2]

"Ein Monat der Hitze- und Trockenheitsschäden

in der Natur:

- Waldbrände (vor allem in Brandenburg, z.B. 04. bei Jüterbog/Kr. Teltow-Fläming auf 30 ha [...])
- Fischsterben in zu warmen Wasser (z.B. alter Rheinarm bei Duisburg)
- Dürreschäden am Erntegut

im Verkehr:

- Keine Schifffahrt wegen Niedrigwasser (Elbe, Rhein)
- Fahrbahnschäden (A61 bei Ludwigsburg Querspaltenhub)
- Verbogene Bahnschienen
- Ausfall von Klimaanlage im Wagentyp ICE-3

für die Gesundheit:

- Mehr Todesfälle durch Hitzestau, Austrocknung (z.B. in Altersheimen in Darmstadt und Karlsruhe)
- Gefahr für Kleinkinder und Tiere im Auto

in der Technik:

- Atomkraftwerke mussten geringere Leistung fahren, um die Grenzwerte für das rückgeleitete Kühlwasser einzuhalten
- Schwierigkeiten, die Umgebungstemperatur von Großrechnern niedrig zu halten

in der Naherholung:

- niedrige Wasserstände der natürlichen Gewässer erschwerten das Baden (niedrigster Wasserstand des Bodensees seit Beginn der Aufzeichnung 1817)."

[DWD 2003-5(8): 4]

A2.4.2. Wetter

Großwetterlage (GWL):

BM Hochdruckbrücke Mitteleuropa

HNa Hoch Nordmeer, antizyklonal

NWa Nordwestlage, antizyklonal

Tag	Abweichung vom Mittel		GWL
16.07.		In Deutschland lag die Höchsttemperatur nur in der Nähe der Nord- und Ostseeküste unter 30°C, sonst wurde diese Marke für einen 'heißen Tag' überall erreicht oder überschritten. Die sehr warme subtropische Luft (xS) wurde von Frankreich her durch die ostwärts vordringenden Fronten des Tiefs 'Berthold' aus Deutschland verdrängt.	
17.07.		Frontdurchzug mit vereinzeltem Niederschlag. Anschließend verstärkender Einfluss des Hochs 'Ilka' durch NE-Verlagerung, dadurch erneuter Zufluss sehr warmer Luft.	
18.07.		Verstärkung der Zufuhr subtropischer Warmluft von SE bis nach Nordeuropa zwischen der Zyklone 'Claas' vor den Britischen Inseln und den Hochdruckgebieten 'Ilka' (über Mitteldeutschland) und 'Helga' (über Südfinnland und Baltikum).	
19.07.		Aufgrund lockerer Bewölkung im Hochdruckeinfluss von 'Ilka' sonnig und trocken mit Temperaturen von verbreitet über 30°C. Weiterhin Strömung aus SW mit Luftmassen subtropischen Ursprungs.	
20.07.		Nächtliche Bewölkung verhinderte in Mecklenburg-Vorpommern stärkere nächtliche Abkühlung und führte zu Minimum-Temperaturen von über 20°C. Eine langsam über Deutschland nach Osten hinweg ziehende Kaltfront brachte nur vereinzelt, dafür aber starke Niederschläge.	
21.07.		In der heißen Luft subtropischen Ursprungs (xS bzw. cS) wurden Temperaturen von deutlich über 30°C erreicht.	
22.07.		Weiterhin Warmluftzufuhr in südwestlicher Höhenströmung zwischen dem westeuropäischen Höhentrog und dem hohen Luftdruck über Osteuropa.	
23.07.		Höhentrog vor den Küsten Westeuropas, hochreichende Antizyklone über Nord- und Osteuropa. Über Deutschland südwestliche Höhenströmung mit Auf- und Absinkzonen (Wolken/Gewitter und Sonne). Über Berlin bis Manschnow in der zweiten Nachthälfte Gewitter.	
24.07.		Südwestliche Höhenströmung, das schwache Hoch wanderte ostwärts zum Baltikum.	
25.07.		Verstärkung des Höhentrogs vor der schottischen Küste, Hoch über dem Baltikum verstärkt sich	
26.07.		Höhentief bleibt nahezu ortsfest, Warm- und Kaltfronten bringen vereinzelt Regen; Hoch zieht bis östlich von Moskau	
27.07.		Ostverlagerung des Höhentrogs über dem Atlantik, so dass über Mitteleuropa weiter eine südöstliche Strömung besteht. Im Osten fließt in Folge einer Warmfront Luft subtropischen Ursprungs bis nach Brandenburg, so dass	

		gegenüber dem Westen ein Temperaturunterschied von bis zu 10 K besteht. Starke Niederschläge im Rahmen einer Gewitterzone vor allem im östlichen Brandenburg.	
28.07.		Hoch über Nordwesten Russlands, Tief über NWDeutschland.	
29.07.		Leicht zyklonal geprägte Wetterlage. Hoch weiter über NWRussland, Tief südöstlich bis nach Ungarn gewandert. Im Osten durchweg Sonne.	
30.07.		Über Ostdeutschland schmaler Hochdruckrücken, in dem sich eingeflossene kühle Meeresluft erwärmen kann. Auf Ost drehende Strömung.	
31.07.			
01.08.		Höhenwirbel über dem NE-Atlantik schwächt sich ab, die Verbindung zwischen Höhenrücken über Osteuropa und Höhenkeil über Südwesteuropa verstärkt sich. Subtropische Luft herrscht in weiten Teilen Europas vor.	
02.08.		Frontalzone verläuft über Britische Inseln und Teile von Skandinavien, Hochdruckzone vom westlichen Mittelmeer bis nach NE-Europa.	
03.08.		Extreme Hitze wandert von Portugal nordwärts nach Spanien und Südwestfrankreich. Stark ausgeprägter Höhenhochdruckrücken über Mitteleuropa. Tropische Luft fließt in Deutschland ein.	
04.08.		Höhenhochkeil breitet sich weiter nordwärts aus, über die Britischen Inseln hinweg bis zum Nordmeer.	
05.08.		Kern der hoch reichenden Antizyklone liegt über Mittelfrankreich mit einem hohen Geopotential (596 gpDam).	HNa
06.08.		NE der Elbe sickert mit nordöstlichem Wind etwas kühlere Luft ein.	

29.07.

„Die derzeitige Wetterlage zeichnet sich durch eine bemerkenswerte Erhaltungsneigung aus. Seit Mitte Juli befindet sich in höheren troposphärischen Luftschichten über dem größten Teil des europäischen Festlandes ein weit nach Norden vorgeschobener, mit Warmluft angefüllter Höhenhochkeil, während sich über dem Nordatlantik [...] ein primärer Höhentrog immer wieder regenerieren konnte. Gestützt wird diese Strömungskonfiguration u.a. durch die von den Erd- und Wasseroberflächen ausgehenden thermischen Impulse in die Atmosphäre hinein. So sorgt die sommerliche Aufheizung der kontinentalen Landflächen mit einer gewissen zeitlichen Verzögerung auch in höheren Luftschichten für eine Zunahme des Geopotentials. Einzelne, sich aus dem Primärtrog lösende, über West- und Mitteleuropa nach Nordosten wegschwenkende Randtröge gestalteten dabei den Wetterablauf [...] zeitweise wechselhaft. Flächendeckende Niederschläge waren jedoch die Ausnahme, so dass sich regional – wie beispielsweise in Nordbrandenburg – die außerordentliche Trockenheit weiter fortsetzte.“

A2.5. Sommer 2006

A2.5.1. Witterung

Juli:

„«In den Archiven des Deutschen Wetterdienstes (DWD) finden wir keinen sonnigeren und heißeren Monat als den Juli 2006. Dieser Juli schlägt alle Rekorde.» Das erklärte Wolfgang Kusch, Präsident des DWD, mit Blick auf die bis 1901 und weiter zurückreichenden Wetterbeobachtungen. Beim Niederschlag kam der Juli nicht aufs Treppchen, obwohl er im Mittel zu trocken war.“ [DWD 8(7): 2]

„06. bis 08.: **Trog Westeuropa:** Mit weiterer Verlagerung der Troglinie gelangte zunächst der Westen, später ganz Deutschland auf der Rückseite einer intensiven Gewitterlinie unter den Einfluss deutlich feuchterer und labiler Luft. Bei Höchsttemperaturen von verbreitet über 30°C bildeten sich wiederholt zum Teil heftige Gewitter mit Starkregen, die örtlich zu Unwetter führten.“ [DWD 8(7): 6]

„09. bis 13: **Hoch Mitteleuropa:** Eine nachfolgende Kaltfront brachte wechselnde Bewölkung und vereinzelt Schauer und Gewitter. Nach kurzem Zwischenhocheinfluss am 10. erreichte der Höhentrog am 11. mittags den Westen und löste örtlich schwere Gewitter mit Hagel, ergiebigem Niederschlag und Sturmböen aus. Die west-ost orientierte Luftmassengrenze in der Mitte Deutschlands trennte trockenere, etwas kühlere Luft im Norden von feuchtwarmer, labiler Subtropikluft in der Mitte und im Süden. An dieser Grenze bildeten sich örtlich Schauer und Gewitter, z. T. mit Sturmböen.“ [DWD 8(7): 8]

„14. bis 19.: **Hoch Britische Inseln:** Die Luftmassengrenze zwischen der feuchtwarmen Luft im Süden und der kühlen Luft im Norden verlagerte sich nach Süden und verursachte am 14. im Süden von Bayern und Baden-Württemberg noch unwetterartige Schauer und Gewitter. Ein Hoch mit Kern über den Britischen Inseln verstärkte sich und wurde in Deutschland wetterwirksam, es ist mit einem Kerndruck von 1036 hPa ungewöhnlich stark. Infolge der blockierenden Wirkung des Hochs und der langen Sonnenscheindauer wird es von Tag zu Tag wärmer, an einzelnen Stationen liegt die Tagesmitteltemperatur am 18. und 19. bis zu 12 K über dem vieljährigen Mittel.“ [DWD 8(7): 8]

„20. bis 26.: **Hochdruckbrücke Mitteleuropa:** Der Höhepunkt der Hitze wurde verbreitet am 20. erreicht. Von 87 Stationen meldeten 44 ein Tagesmaximum über 35°C, 45 Stationen das Monatsmaximum der Tagestemperatur und 42 Stationen das Maximum der positiven Abweichung vom vieljährigen Mittel. Eine Konvergenzzone zog unter Abschwächung langsam von Westen nach Osten, sie verursachte am 20. einzelne Gewitter mit Sturmböen in Hessen, Norddeutschland, Nordrhein-Westfalen und Teilen von Bayern. Auf ihrer Rückseite folgte deutlich feuchtere Luft. Nachfolgender Zwischenhochdruckeinfluss sorgte für ruhiges Wetter und trockene Luft. Gegen Mittag des 22. griff erneut eine Konvergenzzone von Westen her auf Deutschland über und zog unter Abschwächung langsam nach Osten. Ab 24. wurde ein Hochdruckgebiet mit Kern über der Nordsee in ganz Deutschland wetterwirksam. Mit Verlagerung nach Skandinavien folgte feuchte Luft subtropischen Ursprungs, an dieser Konvergenzzone traten am 26. unwetterartige Gewitter im mittleren und westlichen Deutschland auf, aus Hambrücken bei Bruchsal wurde ein Tornado gemeldet.“ [DWD 8(7): 10]

„27. bis 31. Juli: **Trog Westeuropa:** Die Hitze dauerte weiterhin an, vielfach überschritten die Tageshöchsttemperaturen 30°C, Deutschland lag noch innerhalb der Subtropischen Warmluft. Ein schwaches Tief überquerte Deutschland im Verlauf des 28. und 29. von Südwesten nach Nordosten

und löste vor allem westlich der Elbe zum Teil starke Gewitter aus. Die Temperaturen sanken in den Bereich der vieljährigen Mittelwerte. Ein nachfolgender Hochkeil brachte vor allem in der Osthälfte nochmals sonniges und trockenes Sommerwetter. Von Westen und Nordwesten griff am Nachmittag des 30. die Kaltfront eine Nordatlantiktiefs mit Schauer und Gewitter über.“ [DWD 8(7): 12]

A2.5.2. Wetter

Großwetterlage (GWL):

HM Hoch Mitteleuropa HB Hoch Britische Inseln
BM Hochdruckbrücke Mitteleuropa TrW Trog Westeuropa

Tag	Abweichung vom Mittel		GWL
10.07.	bis 8,7 K	Kaltfronten streifen lediglich den äußersten Norden Deutschlands.	HM
11.07.		Das Luftdruckniveau über dem mittleren Nordatlantik, über dem zentralen Europa und auch über Osteuropa bleibt weiterhin recht hoch, so dass die atlantische Frontalzone auf ihrer recht nördlichen Position bleibt. Eine Kaltfront überquert Berlin, jedoch ohne nennenswerten Niederschlag.	
12.07.		Im Osten und Süden Deutschlands hohe Temperaturen und große Schwüle bei Taupunkten von 17 bis 20°C. Antizyklone vor Schottland nimmt an Stärke zu.	
13.07.		Antizyklone über Schottland verstärkt sich auf 1036 hPa, was als ungewöhnlich hoch einzustufen ist. Gleichzeitig liegt über Südsandinavien ein nach Süden gerichteter Trog.	
14.07.	-0,2 bis 10,7	Bodenhoch liegt mit seinem Zentrum von 1035 hPa über dem Ärmelkanal, so dass sich von Norden her kühlere und trockne Luft bis zu den Alpen durchsetzen kann. Im Nordosten einzelne Quellwolken bis Bedeckung.	HB
15.07.		Antizyklone ändert ihre blockierende Lage nur wenig. Im Osten bereits zur Monatsmitte 85% des 30-jährigen Solls der Sonnenscheindauer erfüllt.	
16.07.		Zentrum der Antizyklone liegt im 500hPa-Niveau weiterhin über dem Ärmelkanal, der Bodenschwerpunkt wandert hingegen über die Odermündung. Die Ostverlagerung der Achse veranlasst das Einströmen heißer Luft nach Frankreich, Irland, England und Schottland.	
17.07.		Die Hochdruckzone reicht über Mitteleuropa von Schottland bis nach Tschechien, ihr Kern verschiebt sich über die Nordsee.	
18.07.		Zwei Tröge über dem Nordatlantik und dem Osten Europas flankieren den Schwerpunkt des über Mitteleuropa angelangten Hochdruckgebietes.	
19.07.		Keine wesentliche Änderung.	
20.07.		Zentrum des Hochs verlagert sich weiter südostwärts in Richtung Adria. Schwerpunkt der Hitze liegt zwischen Thüringer Wald und Mecklenburg, die Maxima von 1994 werden in Berlin und Brandenburg allerdings nicht erreicht.	BM
21.07.	bis 7,8 K	Hoch zieht sich mit seinem Zentrum weiter nach Süden bis nach Mittelitalien zurück, der Hochdruckrücken über Mitteleuropa bleibt jedoch in Lage und	

		Intensität weitgehend erhalten. Dadurch setzt sich das heiße Hochsommerwetter in SW-, W- und Mitteleuropa weiter fort, nur in Nordostdeutschland lässt die Hitze etwas nach.	
22.07.		Hochdruckrücken über Mitteleuropa flacht sich ab, durchziehende Konvergenzzonen bringen zwar dem Westen Deutschlands Regen, haben ihre Intensität über dem Osten aber schon stark eingebüßt. Während sich über der südlichen Ostsee ein Bodenhoch auflöst, entsteht über der Biskaya ein neues, das langsam zur Nordsee zieht.	
23.07.		Von Westen einfließende subtropische Meeresluft (mS). In Dahlem 6. Tag in Folge über 30°C, dabei nach über 2 Wochen erstmals eine Sonnenscheindauer unter 10,0 h (7,0 h).	
24.07.		Hochdruckgebiet über der mittleren Nordsee bestimmt den Wetterablauf in fast ganz Mitteleuropa und lenkt verstärkt sehr warme Luft nach Skandinavien. Der Norden und Nordosten Deutschlands bleibt jedoch unter dem Einfluss geringfügig kühlerer Luft (xSp).	
25.07.		Keine wesentliche Änderung.	
26.07.		Keine wesentliche Änderung.	
27.07.	-0,2 bis 7,9	Mitteleuropa verbleibt im Bereich der subtropischen Warmluft (xS). Wolken aus einem schwachen Tiefdruckwirbel sorgen in Berlin und Brandenburg für eine warme Nacht, verhindern am Tag dann aber auch einen starken Temperaturanstieg.	TrW
28.07.		Zentrum des Hochs ist weiter nach Osten gewandert und liegt jetzt über Kiew. Hochdruckrücken reicht bis ins Nordmeer. Trotz zunehmender Bewölkung ist es im Osten wieder hochsommerlich warm. Zahl der Heißen Tage (21) liegt damit schon jetzt über den Rekorden von 94 und 03, als während des gesamten Sommers ‚nur‘ 19 auftraten!	
29.07.		Keine wesentliche Änderung.	
30.07.		Großräumige Wetterumstellung über dem atlantisch-europäischen Raum. Der Höhenkeil über dem östlichen Mitteleuropa schwächt sich ab, wirkt sich auf die Osthälfte Deutschlands aber nochmals mit meist sonnigem und trockenem Hochsommerwetter aus, während auf den Westen Deutschlands bereits eine Kaltfront mit Schauern und Gewittern übergreift.	

„Seit Anfang Juli befand sich – von nur kurzen Unterbrechungen abgesehen – in höheren troposphärischen Luftschichten über West- und Mitteleuropa ein mit Warmluft angefüllter Höhenhochkeil, während sich über Osteuropa sowie über dem östlichen Nordatlantik primäre Höhenträge immer wieder regenerieren konnten. Bedingt durch diese Geopotentialanordnung herrschte in Deutschland im gesamten Monat Juli überwiegend sonniges und sehr warmes bis heißes Hochsommerwetter vor. Einzelne, sich aus dem Primärtrog lösende und über West- und Mitteleuropa ostwärts hinwagschwenkende Randtröge sorgten dabei nur für kurzzeitige Abkühlung verbunden mit Gewitterschauern. Flächendeckende Niederschläge waren damit aber nicht verbunden, so dass sich gebietsweise eine außerordentliche Trockenheit aufbauen konnte. So fielen beispielsweise in Cottbus im gesamten Monat Juli erst 5 Liter Regen pro Quadratmeter; das sind nur 10 Prozent des Monatssolls.“ [Berliner Wetterkarte 55(147): 21]

A3. Überschreitungshäufigkeit thermischer Grenzwerte

Tab. A3-01: Überschreitungshäufigkeit verschiedener Grenzwerte in der Periode von 1993 (28.07.-17.08.).

28.07.-17.08.1993 Überschreitungshäufigkeit von Grenzwerten	TH _{max}	Sommertag (T _{ma} ≥ 25°C)	P95 _{max}	Hitzetag (T _{ma} ≥ 30°C)	GT _{max}	TH _{min}	P95 _{min}	Tropische Nacht (T _{min} ≥ 20°C)	GT _{min}
	Tag					Nacht			
Neuruppin	11	4	3	0	2	14	2	0	0
Angermünde	13	5	3	1	2	17	2	0	0
Berlin-Dahlem	10	8	4	0	3	14	3	0	0
Berlin-Tempelhof	9	8	4	0	1	18	4	0	0
Wittenberg	10	8	4	1	4	15	5	0	0
Cottbus	13	8	4	2	5	16	4	0	0
Durchschnitt	11,0	6,8	3,7	0,7	2,8	15,7	3,3	0,0	0,0

Tab. A3-02: Überschreitungshäufigkeit verschiedener Grenzwerte in der Periode von 1994 (22.07.-11.08.).

22.07.-11.08.1994 Überschreitungshäufigkeit von Grenzwerten	TH _{max}	Sommertag (T _{ma} ≥ 25°C)	P95 _{max}	Hitzetag (T _{ma} ≥ 30°C)	GT _{max}	TH _{min}	P95 _{min}	Tropische Nacht (T _{min} ≥ 20°C)	GT _{min}
	Tag					Nacht			
Neuruppin	21	20	18	13	16	21	17	1	2
Angermünde	21	20	20	12	14	20	16	4	1
Berlin-Dahlem	21	20	17	13	17	21	20	4	0
Berlin-Tempelhof	21	20	18	13	13	21	20	9	1
Wittenberg	21	21	18	15	17	21	20	3	4
Cottbus	21	20	18	14	17	21	18	4	3
Durchschnitt	21,0	20,2	18,2	13,3	15,7	20,8	18,5	4,0	1,8

Anhang 3 – Überschreitungshäufigkeit thermischer Grenzwerte

Tab. A3-03: Überschreitungshäufigkeit verschiedener Grenzwerte in der Periode von 1997 (08.08.-28.08.).

08.08.-28.08.1997 Überschreitungshäufigkeit von Grenzwerten	TH _{max}	Sommertag (T _{ma} ≥ 25°C)	P95 _{max}	Hitzetag (T _{ma} ≥ 30°C)	GT _{max}	TH _{min}	P95 _{min}	Tropische Nacht (T _{min} ≥ 20°C)	GT _{min}
	Tag					Nacht			
	21	21	18	6	14	21	19	1	0
Neuruppin	21	21	18	6	14	21	19	1	0
Angermünde	21	21	16	4	5	20	13	0	0
Berlin-Dahlem	21	21	17	9	12	21	16	0	0
Berlin-Tempelhof	21	21	16	10	9	21	15	0	0
Wittenberg	21	21	14	12	7	21	17	0	1
Cottbus	21	21	14	9	9	21	10	0	0
Durchschnitt	21,0	21,0	15,8	8,3	9,3	20,8	15,0	0,2	0,2

Tab. A3-04: Überschreitungshäufigkeit verschiedener Grenzwerte in der Periode von 2003 (16.07.-05.08.).

16.07.-05.08.2003 Überschreitungshäufigkeit von Grenzwerten	TH _{max}	Sommertag (T _{ma} ≥ 25°C)	P95 _{max}	Hitzetag (T _{ma} ≥ 30°C)	GT _{max}	TH _{min}	P95 _{min}	Tropische Nacht (T _{min} ≥ 20°C)	GT _{min}
	Tag					Nacht			
	21	20	13	6	10	21	14	2	0
Neuruppin	21	20	13	6	10	21	14	2	0
Angermünde	21	15	10	3	9	20	14	0	0
Berlin-Dahlem	21	18	14	9	12	21	16	0	0
Berlin-Tempelhof	21	21	14	9	10	21	16	2	0
Wittenberg	21	20	14	12	15	21	16	1	0
Cottbus	21	20	13	10	13	21	13	0	0
Durchschnitt	21,0	19,0	13,0	8,2	11,5	20,8	14,8	0,8	0,0

Anhang 3 – Überschreitungshäufigkeit thermischer Grenzwerte

Tab. A3-05: Überschreitungshäufigkeit verschiedener Grenzwerte in der Periode von 2006 (10.07.-30.07.).

10.07.-30.07.2006 Überschreitungshäufigkeit von Grenzwerten	TH _{max}	Sommertag (T _{ma} ≥ 25°C)	P95 _{max}	Hitzetag (T _{ma} ≥ 30°C)	GT _{max}	TH _{min}	P95 _{min}	Tropische Nacht (T _{min} ≥ 20°C)	GT _{min}
	Tag					Nacht			
Neuruppin	21	20	16	10	15	20	14	1	2
Angermünde	21	19	17	14	12	18	15	0	1
Berlin-Dahlem	21	20	16	12	14	20	15	2	1
Berlin-Tempelhof	21	20	16	13	13	20	16	2	3
Wittenberg	21	20	15	14	n. d.	20	16	2	n. d.
Cottbus	21	20	17	16	14	19	17	5	0
Durchschnitt	21,0	19,8	16,2	13,2	11,3	19,5	15,5	2,0	1,2

A4. Abweichung der Mortalität vom Erwartungswert auf kommunaler Ebene

Tab. A4-01: Farbwerte der Klassen in der kartographischen Darstellung der Abweichung der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert.

Spanne	Klasse	Art der Abweichung	Cyan	Magenta	Yellow	Karbon
- 30,0 bis - 10,1	- 1	Negativ	40	0	90	0
- 10,0 bis + 10,0	0	Indifferent	5	5	70	0
+ 10,1 bis + 30,0	+ 1	Positiv	0	40	90	0
+ 30,1 bis + 50,0	+ 2	Stark positiv	0	70	95	5
+ 50,1 bis + 70,0	+ 3	Sehr stark positiv	0	100	100	10

Anhang 4 – Abweichung der Mortalität vom Erwartungswert

Tab. A4-02: Abweichung der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert in den Bezirken Berlins (B) sowie den kreisfreien Städten (KFS) und Landkreisen (LK) Brandenburgs während der Periode von 1993 (28.07.-17.08.).

	Gebietsname	beobachtet	erwartet	Abweichung
112	B-Reinickendorf	144	191	75,6
201	KFS-Brandenburg	41	53	77,5
103	B-Pankow	163	207	78,7
202	KFS-Cottbus	54	68	80,0
212	LK-Oder-Spree	94	117	80,3
110	B-Marzahn-Hellersdorf	78	93	83,9
210	LK-Oberhavel	93	106	87,9
208	LK-Havelland	78	87	89,9
216	LK-Spree-Neiße	90	100	89,9
109	B-Treptow-Köpenik	128	141	90,5
207	LK-Elbe-Elster	86	95	90,8
104	B-Charlottenburg-Wilmersdorf	238	257	92,7
205	LK-Barnim	90	96	93,6
105	B-Spandau	152	160	94,9
108	B-Neukölln	197	206	95,7
204	KFS-Potsdam	75	77	96,9
215	LK-Prignitz	71	73	97,1
106	B-Steglitz-Zehlendorf	246	251	98,1
101	B-Mitte	206	209	98,8
111	B-Lichtenberg	129	129	100,0
203	KFS-Frankfurt	42	41	102,1
107	B-Tempelhof-Schöneberg	247	239	103,5
217	LK-Teltow-Fläming	100	96	104,3
206	LK-Dahme-Spree	96	92	104,7
102	B-Friedrichshain-Kreuzberg	161	153	105,1
209	LK-Märkisch-Oderland	111	105	105,8
213	LK-Ostprignitz-Ruppin	82	77	106,0
218	LK-Uckermark	107	95	112,5
211	LK-Oberspreewald-Lausitz	125	111	113,1
214	LK-Potsdam-Mittelmark	125	107	117,2

Anhang 4 – Abweichung der Mortalität vom Erwartungswert

Tab. A4-03: Abweichung der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert in den Bezirken Berlins (B) sowie den kreisfreien Städten (KFS) und Landkreisen (LK) Brandenburgs während der Periode von 1994 (22.07.-11.08.).

	Gebietsname	beobachtet	erwartet	Abweichung
203	KFS-Frankfurt	42	41	103,1
215	LK-Prignitz	79	71	111,9
207	LK-Elbe-Elster	111	93	119,6
217	LK-Teltow-Fläming	115	96	120,4
204	KFS-Potsdam	92	75	122,6
109	B-Treptow-Köpenik	171	137	124,7
214	LK-Potsdam-Mittelmark	135	107	126,7
105	B-Spandau	202	159	127,1
216	LK-Spree-Neiße	125	98	127,4
206	LK-Dahme-Spree	119	90	131,7
205	LK-Barnim	128	97	132,4
209	LK-Märkisch-Oderland	142	107	133,0
212	LK-Oder-Spree	155	115	134,3
104	B-Charlottenburg-Wilmersdorf	340	251	135,6
208	LK-Havelland	117	86	136,3
213	LK-Ostprignitz-Ruppin	102	75	136,6
211	LK-Oberspreewald-Lausitz	150	108	139,3
111	B-Lichtenberg	178	126	141,3
112	B-Reinickendorf	264	185	142,7
108	B-Neukölln	292	203	144,1
202	KFS-Cottbus	96	66	144,8
106	B-Steglitz-Zehlendorf	358	246	145,3
218	LK-Uckermark	138	94	147,2
101	B-Mitte	306	206	148,6
210	LK-Oberhavel	160	107	149,6
103	B-Pankow	298	198	150,6
107	B-Tempelhof-Schöneberg	364	236	154,1
110	B-Marzahn-Hellersdorf	146	93	156,5
201	KFS-Brandenburg	84	52	161,6
102	B-Friedrichshain-Kreuzberg	246	147	167,2

Anhang 4 – Abweichung der Mortalität vom Erwartungswert

Tab. A4-04: Abweichung der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert in den Bezirken Berlins (B) sowie den kreisfreien Städten (KFS) und Landkreisen (LK) Brandenburgs während der Periode von 1997 (08.08.-28.08.).

	Gebietsname	beobachtet	erwartet	Abweichung
205	LK-Barnim	75	91	82,2
217	LK-Teltow-Fläming	75	91	82,6
209	LK-Märkisch-Oderland	85	98	86,4
218	LK-Uckermark	78	88	89,0
213	LK-Ostprignitz-Ruppin	61	68	89,5
112	B-Reinickendorf	155	167	92,8
105	B-Spandau	141	148	95,3
108	B-Neukölln	168	176	95,5
104	B-Charlottenburg-Wilmersdorf	215	221	97,3
214	LK-Potsdam-Mittelmark	104	106	98,3
107	B-Tempelhof-Schöneberg	209	210	99,7
110	B-Marzahn-Hellersdorf	93	93	99,9
101	B-Mitte	183	183	100,2
206	LK-Dahme-Spree	91	89	101,8
212	LK-Oder-Spree	113	109	103,9
208	LK-Havelland	80	76	105,7
102	B-Friedrichshain-Kreuzberg	133	123	107,8
210	LK-Oberhavel	112	103	108,4
211	LK-Oberspreewald-Lausitz	104	96	108,4
216	LK-Spree-Neiße	98	89	109,9
109	B-Treptow-Köpenik	140	125	111,6
106	B-Steglitz-Zehlendorf	248	222	111,9
203	KFS-Frankfurt	41	36	114,0
201	KFS-Brandenburg	54	47	115,1
103	B-Pankow	193	167	115,4
111	B-Lichtenberg	130	112	116,6
215	LK-Prignitz	84	68	123,6
207	LK-Elbe-Elster	104	84	124,2
202	KFS-Cottbus	79	64	124,3
204	KFS-Potsdam	92	69	133,1

Anhang 4 – Abweichung der Mortalität vom Erwartungswert

Tab. A4-05: Abweichung der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert in den Bezirken Berlins (B) sowie den kreisfreien Städten (KFS) und Landkreisen (LK) Brandenburgs während der Periode von 2003 (16.07.-05.08.).

	Gebietsname	beobachtet	erwartet	Abweichung
202	KFS-Cottbus	52	60	86,0
203	KFS-Frankfurt	32	37	87,5
111	B-Lichtenberg	122	132	92,6
204	KFS-Potsdam	62	67	92,9
210	LK-Oberhavel	102	107	95,2
212	LK-Oder-Spree	104	107	97,6
208	LK-Havelland	78	80	98,0
201	KFS-Brandenburg	45	46	98,2
205	LK-Barnim	90	92	98,2
218	LK-Uckermark	81	82	98,4
109	B-Treptow-Köpenik	120	121	99,3
105	B-Spandau	146	145	100,6
108	B-Neukölln	163	162	100,7
207	LK-Elbe-Elster	82	81	101,0
214	LK-Potsdam-Mittelmark	107	105	101,7
107	B-Tempelhof-Schöneberg	195	191	102,1
206	LK-Dahme-Spree	87	85	102,5
101	B-Mitte	169	162	104,5
106	B-Steglitz-Zehlendorf	199	189	105,0
209	LK-Märkisch-Oderland	112	104	108,2
102	B-Friedrichshain-Kreuzberg	110	101	108,8
217	LK-Teltow-Fläming	96	88	108,9
104	B-Charlottenburg-Wilmersdorf	205	188	109,2
110	B-Marzahn-Hellersdorf	112	100	111,9
112	B-Reinickendorf	160	142	112,6
103	B-Pankow	180	152	118,3
211	LK-Oberspreewald-Lausitz	108	89	122,0
216	LK-Spree-Neiße	106	84	126,3
213	LK-Ostprignitz-Ruppin	82	63	131,0
215	LK-Prignitz	75	56	134,1

Anhang 4 – Abweichung der Mortalität vom Erwartungswert

Tab. A4-06: Abweichung der beobachteten Mortalität vom Erwartungswert in den Bezirken Berlins (B) sowie den kreisfreien Städten (KFS) und Landkreisen (LK) Brandenburgs während der Periode von 2006 (10.07.-30.07.).

	Gebietsname	beobachtet	erwartet	Abweichung
201	KFS-Brandenburg	35	47	73,7
213	LK-Ostprignitz-Ruppin	59	64	92,9
207	LK-Elbe-Elster	76	82	93,1
105	B-Spandau	157	146	107,5
108	B-Neukölln	168	153	109,5
216	LK-Spree-Neiße	91	82	110,7
217	LK-Teltow-Fläming	96	85	112,7
204	KFS-Potsdam	80	70	114,2
212	LK-Oder-Spree	124	108	115,2
214	LK-Potsdam-Mittelmark	120	103	116,6
109	B-Treptow-Köpenik	146	125	116,9
101	B-Mitte	175	148	118,2
208	LK-Havelland	98	83	118,2
102	B-Friedrichshain-Kreuzberg	110	93	118,4
103	B-Pankow	189	157	120,6
110	B-Marzahn-Hellersdorf	128	105	121,7
202	KFS-Cottbus	72	59	122,2
203	KFS-Frankfurt	45	37	122,6
209	LK-Märkisch-Oderland	125	102	123,0
218	LK-Uckermark	98	80	123,1
107	B-Tempelhof-Schöneberg	218	175	124,5
211	LK-Oberspreewald-Lausitz	108	86	125,4
215	LK-Prignitz	64	51	125,5
104	B-Charlottenburg-Wilmersdorf	215	170	126,3
112	B-Reinickendorf	168	132	126,8
111	B-Lichtenberg	158	124	127,3
205	LK-Barnim	114	90	127,3
106	B-Steglitz-Zehlendorf	215	168	127,7
206	LK-Dahme-Spree	108	82	131,8
210	LK-Oberhavel	143	107	134,2

Danksagung

Zum Abschluss dieser Arbeit möchte ich mich bei denen bedanken, die zu ihrem Gelingen beigetragen haben:

- Prof. Dr. Wilfried Endlicher, der mir das Thema der Hitzebelastung in Berlin und Brandenburg zur Untersuchung auf Gesundheitsrisiken überlassen hat. Damit konnte ich mein im Studium gewonnenes Interesse an Fragestellungen hinsichtlich gesundheitlicher Aspekte im Raum weiter vertiefen. Meine Ideen zur Ausarbeitung des Themas hat er jederzeit unterstützt und mir durch die Einbindung in die zweite Phase des Graduiertenkollegs 'Stadtökologische Perspektiven' weiteren interdisziplinären wissenschaftlichen Austausch ermöglicht.
- Der Nachwuchsförderung des Landes Berlin (NaFöG) für das mir und meinem Thema entgegengebrachte Vertrauen und die Förderung mit einem Stipendium über drei Jahre.
- Prof. Dr. Peter C. Werner vom Potsdam Institut für Klimafolgenforschung (PIK) sowie Herrn Dr. Klaus Bucher vom Deutschen Wetterdienst (DWD), Freiburg i. Br., für die unkomplizierte Bereitstellung der meteorologischen Daten.
- Dr. Klaus Neitzel und Alexander Beyer für die jederzeit geleistete technische Hilfe bei Hard- und Software-Problemen.
- Meinen Kolleginnen Anja Pagenkopf, Marlén Müller und Katrin Burkart für fachlichen Meinungsaustausch und moralische Unterstützung.
- Azucena Arango Miranda und Markus Swierczek für intensive methodische Diskussionen und freundschaftlichen Beistand.

Nicht zuletzt und ganz besonders möchte ich mich bei meinen Eltern, Renate und Baldur Gabriel, für die verständnisvolle Unterstützung während des gesamten Studiums und das stete Interesse an meiner Arbeit bedanken.

Erklärung

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Inhalte sind als solche kenntlich gemacht.

Weiterhin versichere ich, dass ich mich nicht bereits anderwärts um einen Doktorgrad beworben, bzw. bereits einen Doktorgrad im Fach Geographie besitze. Die dem angestrebten Promotionsverfahren zugrunde liegende Promotionsordnung ist mir bekannt.

Berlin, den 25. September 2009